ENDEAVOUR

Revista trimestral destinada a registrar el progreso
de las ciencias al servicio de la humanidad

VOLUMEN IX OCTUBRE 1950 NUMERO 36

La conservación de los objetos de museo

«Un objeto bello es un goce perpetuo. Su encanto crece con el tiempo y nunca revierte a la nada». Así cantó el poeta, con perfecto sentido estético; pero se ve que no era el guardián de un museo o de una galería de arte. Interpretada con prosaico realismo, la citada aserción es enteramente opuesta a la verdad. Los celadores saben muy bien que los tapices se desvanecen o son devorados por la polilla; que las pinturas se obscurecen; que los manuscritos iluminados acaban por desintegrarse; que los palimpsestos se hacen cada día más ilegibles. En otros tiempos se aceptaban tales pérdidas con melancólica resignación, considerándolas inevitables, y no se hacía, ni se podía hacer, gran cosa por impedirlas.

Tenemos ahora de esto una concepción más esperanzada. Nos damos cuenta de que, ante una colección cualquiera de objetos preciosos, reunidos en un museo o galería, surgen diversas cuestiones, aparte de la investigación histórica, la documentación, las exposiciones públicas, las conferencias y demás tareas similares. Hay otros problemas fundamentales, de carácter científico y técnico, que hemos llegado a percibir, tal vez, por virtud del éxito de la ciencia al resolver problemas semejantes en otros campos. Nos referimos al cuidado racional de los tesoros artísticos, que prevee en lo posible las causas de su decadencia, crea métodos para prevenirla, y restaura los objetos deteriorados, rejuveneciendo su apariencia. Dicho esto, se comprenderá que la solución de tales problemas exige la intervención del científico, pero ello no quiere decir que haya de descuidarse el criterio estético en la conservación de los objetos artísticos. Al contrario, semejante criterio debe ser en todo momento primordial; pero los científicos tienen en este caso una función perfectamente definida: ocuparse del aspecto «mecánico» de la cuestión, tratando de esclarecerlo objetivamente.

No es éste el momento de entrar a definir los detalles del procedimiento, aunque es claro que el primer punto a esclarecer será el referente a la estructura del objeto que se trata de preservar. Igual importancia tiene la influencia del medio. Con respecto a este punto, debe recordarse que la experiencia de los depósitos del tiempo de guerra, con los riesgos de su vigilancia y sus incidentes muchas veces imprevisibles, probó de un modo concluyente el valor del acondicionamiento del aire y sus benéficos efectos en la prolongación de la vida de las obras de arte. Este especial cuidado no puede curar las lesiones antiguas, pero sí evitar su repetición al suprimir sus causas.

En las tareas de conservación, como en otras esferas, los aparatos e instrumentos de todas clases son hasta cierto punto inútiles si no los maneja un personal perfectamente entrenado para el caso. Sin embargo, hasta muy recientemente no existía ningún organismo de tipo internacional que estableciese el *standard* profesional en este gremio, y estimulase el progreso, tanto en el conocimiento de los materiales, como en la habilidad técnica para tratarlos. En la primavera de este año (1950) se ha fundado en Londres el Instituto Internacional para la Conservación de los Objetos de Museo, que representa el primer intento de formar una corporación de colegas y asociados — elegidos con gran esmero — que se preocupen de la preservación de toda clase de objetos preciosos. A su debido tiempo, el nuevo instituto ocupará un puesto honroso entre las demás organizaciones profesionales — de arquitectos, ingenieros, físicos, químicos, etc. — que surgieron con el mismo propósito general: el de elevar su estatuto de especialistas y el de mantener y exigir un alto nivel de competencia dentro de su clase.

Los fundadores del Instituto, autoridades destacadas en el conocimiento de la teoría y la práctica de la conservación de los objetos de arte, han

recibido muchas pruebas de apoyo, pero ninguna tan estimulante como la ofrecida por la Fundación Nuffield, que ha prometido entregar al Instituto 500 libras anuales durante cinco años. Los Estados Unidos (donde se originó el proyecto) y Bélgica han ofrecido también ayuda financiera, así como Inglaterra, aparte la donación Nuffield. Como tantas otras empresas jóvenes, el nuevo Instituto comienza su vida con medios muy modestos, y una gran parte de su trabajo habrá de realizarse por vocación desinteresada. Es muy deseable que se difundan todo lo posible sus propósitos, los cuales han recibido ya una magnífica respuesta por parte de los círculos arqueológicos de la India y de los técnicos especializados de Suecia.

Nadie puede contemplar la presente situación de la preparación y reclutamiento de celadores y restauradores de objetos de museo sin sentirse justamente alarmado. Se han hecho trabajos admirables por individuos e instituciones académicas y profanas; pero queda mucho por hacer para combinar la suma requerida de conocimientos científicos adecuados y experiencia práctica complementaria con la debida estimación de los aspectos históricos y estéticos del problema. En el Museo de Arte de Fogg, en Harvard, se han hecho y se están haciendo grandes cosas. En el Instituto Courtauld de Londres se están dando clases sobre la materia, y este verano se ensayó un curso de instrucción para celadores de museo, que es de esperar se convierta en una institución permanente.

Pero lo que se requiere, sobre todo, es un plan de instrucción aplicable a toda clase de objetos de museo, y que pueda obtener en su día reconocimiento internacional. Sin el menor deseo ni pretensión de dictar, el nuevo Instituto está facultado para otorgar diplomas en determinadas condiciones, y se propone inaugurar esquemas de instrucción siempre y dondequiera que las circunstancias lo permitan.

Lord Rutherford solía decir que el conocimiento se desarrolla por el desenvolvimiento de la técnica. Siendo esto cierto, no hay duda de que se requiere ante todo, en nuestro caso, la difusión de los conocimientos técnicos entre todos los interesados en el asunto. Se trata de lanzar una nueva publicación bajo los auspicios del Instituto, para lo que se han hecho ya las oportunas preparaciones. No será posible la aparición regular de la revista; se publicará un número siempre que se haya reunido suficiente material de alta calidad para llenarlo. Mientras tanto, se proyecta publicar un boletín más ligero, que será distribuído con regular frecuencia entre los socios del Instituto, para mantenerles informados acerca de su tendencia general y de sus actividades actuales.

Se irán desenvolviendo gradualmente los órganos de consulta y asesoramiento, para facilitar la cooperación con otros organismos.

Tal es, en esencia, el esqueleto de una organización que trata de asentar la profesión de conservadores de museos sobre cimientos más firmes que los anteriores. Sólo el tiempo podrá mostrar los resultados, pero el intento es ya ciertamente prometedor. Ilustraremos la cuestión con un ejemplo de tipo general. En el caso, particularmente importante, de la limpieza de cuadros, existen, como es sabido, diversas tendencias teóricas y prácticas. Todo el que tenga alguna experiencia de tan delicada y difícil tarea reconocerá que la habilidad del restaurador es, en este caso, lo esencial. Sin ella, todos los conocimientos sobre disolventes, fricción, física de la pintura, películas moleculares y demás materias técnicas carecen realmente de valor. Es también de importancia la integridad de propósito y la voluntad de cooperar con las personas de autoridad científica y técnica, a fin de obtener un asesoramiento efectivo, reduciendo a un mínimum las posibilidades de error.

En el estado actual de nuestros conocimientos, no se pueden formular reglas infalibles, porque los materiales en cuestión y las relaciones entre ellos son de una inmensa variedad; sin embargo, la sensibilidad de observación, combinada con una actitud objetiva, puede ayudar grandemente a vencer las numerosas dificultades ofrecidas por la conservación y tratamiento de los materiales.

Redactor-jefe: E. J. HOLMYARD
Redactor auxiliar: TREVOR I. WILLIAMS
Ediciones extranjeras: J. A. WILCKEN

Imperial Chemical Industries, Nobel House, Buckingham Gate, Londres, S.W.1
Toda comunicación a los editores debe dirigirse a 26 Dover Street, Londres, W.1

Problemas físicos de la deformación de metales

E. N. DA C. ANDRADE

Desarrollo de la teoría de que las propiedades mecánicas de los metales dependen de pequeñas irregularidades locales en la red cristalina. Métodos para revelar la estructura granular del metal. Estudio de las fuerzas interatómicas que regulan el comportamiento de un cristal metálico sometido a tensiones; discrepancias entre dicho comportamiento según los experimentos y las predicciones teóricas, sobre todo en el caso de los monocristales metálicos. Los monocristales estirados y la deformación de su estructura, que parece tener lugar por deslizamiento a lo largo de los planos cristalinos. Dicho deslizamiento se atribuye a la traslación de dislocaciones; modelos ilustrativos de las mismas. Las impurezas detienen el movimiento de las dislocaciones y causan el endurecimiento del metal. El comportamiento mecánico de los monocristales puede explicarse solamente mediante un sistema de fallas en su estructura. Estudio del deslizamiento o flujo de los metales sometidos a altas temperaturas y tensiones; formulación e interpretación de la ecuación de flujo. Consideración de las actuales investigaciones experimentales sobre el flujo por cizallamiento.

Una de las paradojas que la Física presenta a los no iniciados es que las propiedades mecánicas de los gases, que no pueden comunmente verse, ni manejarse excepto en recipientes cerrados, son mucho más fáciles de explicar que las de los estados condensados — esto es, sólidos y líquidos —, que son palpables, visibles y fácilmente accesibles a una variedad de simples pruebas. Naturalmente, la razón es que, en estado gaseoso, las moléculas escasean, de modo que su complicado comportamiento cuando se hallan muy próximas sólo se produce durante las colisiones que, si consideramos la historia toda de una molécula, son relativamente infrecuentes; y aún en dicho caso sólo afectan a dos, o a lo más a tres, moléculas a un mismo tiempo. En un estado condensado toda molécula pasa su entera existencia en inmediata vecindad de otras varias, y las fuerzas predominantes, que suponen la inter-acción de diversas capas electrónicas, presentan un difícil problema que sólo admite soluciones aproximadas. El estado cristalino es, desde varios puntos de vista, más simple que el líquido, debido a su regularidad estructural. La dificultad fundamental del estado sólido es que no se halla en equilibrio termodinámico con la materia que le rodea, equilibrio que se da en todos los líquidos ordinarios. Ello es particularmente evidente en el caso de los metales: un metal de una especie química perfectamente determinada — esto es: un metal puro o uno que contenga determinada proporción de otros metales — bajo condiciones precisas de temperatura y presión puede poseer gran variedad de propiedades, especialmente mecánicas; su comportamiento dependerá notablemente de su anterior historia. La simple referencia al temple o al pulido será suficiente para indicar lo que queremos decir. Dicha variedad va subrayada por la división de las propiedades de sólidos, principalmente los metálicos, en dos clases: insensibles a la estructura, y sensibles a la estructura; las primeras son las que apenas quedan modificadas por la presencia de ligeras impurezas o por el tratamiento mecánico y térmico — calor específico, constantes totales de redes de cristalización, densidad, coeficiente de expansión térmica; las segundas son la permeabilidad magnética y el límite de elasticidad, resistencia tensil, ductilidad y propiedades de fluencia. Un ejemplo notable nos lo ofrecen ciertos aceros manganésicos de determinada composición, que según la estructura producida por el tratamiento pueden ser resistentes, dúctiles y no magnéticos, o duros, quebradizos y magnéticos.

Las grandes dificultades para el estudio de los metales están pues causadas por la posibilidad de numerosas diferencias estructurales en condiciones semejantes, lo cual implica la metastabilidad de la mayoría de los estados en que puede existir un metal. En general, un metal en un estado dado permanece indefinidamente en dicho estado a la temperatura ordinaria; existen sin embargo excepciones, tales como el caso del estaño blanco (ordinario) que se transforma lentamente en

estaño gris a temperaturas inferiores a 18°, y las numerosas aleaciones, como las de aluminio, que se endurecen a temperaturas ordinarias, y más rápidamente a una temperatura constante más elevada. Dicho cambio, llamado endurecimiento por precipitación, será tratado más adelante.

Por consiguiente, si queremos hallar una explicación de las propiedades mecánicas de los metales tendremos que considerar primero su estructura. Estudiaremos en primer lugar los metales puros. Es sabido que los metales ordinarios se componen de masas de pequeños cristales, llamados comúnmente granos cristalinos, cuya existencia se revela al pulir[1] el metal y atacar su superficie con un reagente indicado que ejerza una acción preferente sobre los límites de los cristales (*Vid.* figura 1) y, con frecuencia, sobre distintas caras cristalinas, ya que los diferentes reagentes químicos poseen por lo común distintas velocidades de reacción sobre las distintas caras de un mismo cristal. Hausser y Scholz [2] mostraron casos notables de acción selectiva con una esfera torneada de un monocristal de cobre cuya preparación fué en sí una hazaña técnica. La oxidación que se produce en el aire quedó limitada a las faces cúbicas de la estructura cristalina. Si la esfera se trata con ácido nítrico en que se ha disuelto mercurio, las faces rómbicas del dodecaedro quedan cubiertas con un depósito de mercurio, quedando cada cara individual separada de las demás por bandas de brillante cobre. La figura 5 muestra otros ejemplos del ataque preferencial sobre las caras cristalinas por un reagente más común.

Otro método para revelar la estructura metálica mediante el tratamiento de la superficie, de manera que se produzca una acción selectiva, consiste en calentar el metal hasta que las capas superficiales queden eliminadas por vaporización. Dicho método ha sido utilizado por Chalmers y sus colaboradores para el estudio de la plata policristalina [3], y por Randall y el autor al estudiar las irregularidades locales de monocristales de cadmio [4]. Chalmers y sus colaboradores han estudiado asimismo la acción de los gases sobre los metales calentados, mostrando que el oxígeno, por ejemplo, es un relevador de estructuras muy efectivo. En la figura 3 se ve una superficie de plata atacada por el oxígeno a una temperatura de 900°, mostrando gemelos sin deformación, mientras que en la figura 4, la plata ha sido tratada térmicamente en el aire y muestra los límites del grano, así como la estructura interna de éste.

Mucho se ha discutido acerca de la naturaleza del límite inter-cristalino; una teoría dice que los granos se hallan separados por una región con la anchura de varios centenares de átomos en la cual éstos se hallan en desorden — el llamado «cemento amorfo» — ; la otra mantiene que entre dos granos, dentro de cada uno de los cuales prevalece un orden cristalino, existe una lámina de la anchura de sólo unos átomos, y éstos, al estar sometidos a la influencia de fuerzas de ambas redes cristalinas, constituyen una capa transicional. Esta última doctrina es la más generalmente aceptada, y muy recientemente Chalmers y sus colaboradores, aplicando la consideración de la energía libre a los límites, han ofrecido fuertes razones en su apoyo [5].

En un metal policristalino tenemos pues que considerar tanto los granos como los límites cristalinos si queremos hallar una explicación de las propiedades de aquél. Es más, tenemos que recordar que, con un metal dado, las dimensiones medias del grano pueden variar dentro de límites muy amplios según el método de tratamiento, y que aunque las impurezas presentes pueden ser mínimas — nunca llegan a ser cero — pueden concentrarse preferentemente en los límites cristalinos en los que, por existir pocos átomos relativamente, la proporción de impurezas puede elevarse considerablemente. También, como veremos, la deformación mecánica puede influir grandemente en la estructura de los granos cristalinos mismos. Debe quedar claro, por tanto, que aún un metal espectroscópicamente puro presenta una estructura muy complicada; y que sus propiedades mecánicas difieren más de lo que pudieramos preveer teóricamente que lo que estas primeras consideraciones sobre la estructura parecen sugerir.

Estudiemos el más simple cristal teórico: el formado por sólo dos átomos que se hallan en equilibrio entre dos fuerzas, una de atracción y otra de repulsión mutua; la segunda decrece con el aumento de la distancia mucho más rápidamente que la de atracción, produciéndose por consiguiente un equilibrio en E (figura 20), donde ambas son iguales. El cuadro general en una red completa de fuerzas prevalentes es poco más o menos lo mismo, y, de tal modo, pudiera suponerse que si ejercemos sobre la red una tensión que fuerce los átomos a separarse, la fuerza de atracción aumentaría hasta alcanzar el máximo, como

[1] Hoy se utiliza mucho la técnica del pulido por electrólisis, la cual tiene la gran ventaja de no destruir la estructura de la superficie cristalina, que sufre deformaciones locales considerables con el pulido mecánico.

en *M*, rompiéndose entonces el metal. Hasta alcanzar dicho punto, la red teórica se comportaría elásticamente, recobrando su tamaño y forma originales al suspenderse la tensión. Tendríamos entonces, en tal caso, deformaciones perfectamente elásticas que no obedecerían a la ley de Hooke. Es más, podemos estimar aproximadamente el punto teórico de rotura del metal. El único caso en que las fuerzas interatómicas son lo suficientemente conocidas para que nos sea posible tal cálculo es el tipo iónico simple de la sal de piedra; en éste caso el resultado del cálculo es que la fractura se producirá a un estiramiento del 14% y una carga de unos 250 kg/mm². Un método más general para calcular la resistencia teórica se basa en la energía de la nueva superficie formada cuando se fractura una barra bajo tensión. El valor de la energía de superficie nos lo da la tensión superficial que resulta, a su vez, de la tensión superficial del líquido, basándonos en que (puesto que las distancias interatómicas no cambian mucho al fundirse la substancia) la energía de superficie de los estados sólido y líquido será casi la misma. Dicho método, aplicado a la sal de piedra nos da aproximadamente el mismo valor que el que obtenemos considerando las fuerzas interatómicas; aplicado a los metales nos da valores de fractura del orden de 3000 kg/mm². Ahora bien, el punto de fractura experimental de la sal de piedra es de 0,5 kg/mm², mientras que el límite elástico de los metales raramente alcanza 50 kg/mm², y su resistencia límite el doble de dicho valor. La resistencia de un metal, cualquiera que sea su definición, no alcanza nunca, ni aún en el caso de los aceros más resistentes, la treintava parte del valor que se calcula en teoría para un cristal perfecto. Lo mismo sucede si consideramos la elasticidad bajo cizallamiento. En general, la región de elasticidad perfecta es muy pequeña: el metal no se fractura repentinamente, sino que existe una gran deformación plástica durante la cual se endurece el metal («work-hardening») y, para más elevadas temperaturas y tensiones, el metal sometido a una tensión mantenida no retiene las dimensiones que adquirió al ser cargado primeramente, sino que fluye o «se desliza» lentamente. La fractura de metales es un tema muy complicado según puede verse en el reciente estudio de Orowan [6].

En un principio todas estas anomalías pudieran atribuirse al hecho de que el metal no consiste de un solo cristal único sino de múltiples cristales pequeños separados por los límites a que nos hemos referido; pudiendo suponerse asimismo que dichos límites son la causa de la debilidad del metal. Sin embargo, durante las últimas décadas ha sido posible construir muestras metálicas llamadas monocristales en las que la dirección de los ejes cristalinos, según pruebas radiográficas, es siempre la misma. Estos cristales pueden construirse de varios modos; por ejemplo: sometiendo la muestra alternadamente a ciertas fuerzas y temperaturas (método de Carpenter y Elam, usado especialmente para muestras planas), solidificando sistemáticamente el metal fundido, encerrado en un recipiente, a partir de uno de los extremos (Tammann, Hausser y Scholz, y otros), y fundiendo parcialmente el metal en un horno movible (Andrade y Roscoe). Los monocristales se preparan generalmente en forma de alambre o barra, que un examen superficial pudiera fácilmente confundir con un metal policristalino; el hecho de que los ejes cristalinos estén siempre en la misma dirección se puede demostrar con facilidad por medio de métodos radiográficos comunes. Por ejemplo, la figura 2 muestra una radiografía retro-reflexiva de un monocristal de oro contrastada con la de una muestra de oro policristalino. Pueden, por tanto, efectuarse pruebas ordinarias con muestras de la misma forma y dimensiones de metales con estructuras mono y policristalinas.

Lo extraño es que el metal de estructura monocristalina se comporta de manera aún más opuesta a la prevista teóricamente que los metales policristalinos. Por lo común, comienzan a producirse grandes deformaciones plásticas bajo tensiones mucho más bajas que las necesarias en los metales policristalinos; en uno o dos casos en que se produce la fractura en forma quebradiza (notablemente con el bismuto bajo ciertas condiciones), la resistencia tensil es muy baja, del orden de 1 kg/mm². La deformación conduce, en general, a un gran endurecimiento del metal. Lo más curioso es, sin embargo, que el alambre monocristalino extendido muestra una estructura de bandas característica, que parecieran producidas por deslizamiento, de una serie de planos paralelos con un determinado ángulo respecto del eje del alambre, y que al estirarse éste toma una forma aplanada, adquiriendo la sección normal una forma elíptica en vez de circular. La figura 7 muestra un monocristal de cadmio que se ha estirado en un 40%; su estructura escalonada no es un efecto de las impurezas. El mercurio es quizás el metal que puede purificarse más efectivamente; monocristales estirados del mercurio más puro posible — en forma sólida, por supuesto, lo

que significa una baja temperatura—muestran las bandas típicas con gran claridad (figura 8). El aplanamiento al estirarse aparece ilustrado en la figura 10 que muestra un monocristal de cadmio estirado en un 140% y visto desde dos direcciones en ángulo recto (ambas normales al eje del alambre).

Muchos de los fenómenos observados pueden explicarse si suponemos que la deformación se produce por deslizamiento en ciertas series de planos cristalinos y en una dirección cristalina particular. Es, en especial, simple el caso de metales con estructuras cristalinas hexagonales. En ellos, el llamado plano de deslizamiento es el plano básico hexagonal, que es único. En el plano de deslizamiento hay tres direcciones equivalentes en las que se puede producir el mismo: los ejes diagonales *OC*, *OD*, *OE* (figura 21); en cualquier caso será operativo el que se halle más próximo a la proyección *OA* del eje del alambre sobre el plano (*OD* en el caso del diagrama). El deslizamiento se iniciará cuando la tensión de cizallamiento sobre el plano de deslizamiento resuelta en la dirección de éste alcance un cierto valor s, que es la tensión crítica de cizallamiento para el metal dado. Si es A el área de la sección normal del alambre, F la fuerza aplicada en la dirección de su eje, y χ y λ los ángulos que forman los planos de deslizamiento y la dirección de éste respectivamente con el eje del alambre, la condición para la iniciación de la deformación plástica será:

$$(F/A) \text{ sen } \chi \cdot \cos \lambda = s$$

En cristales cúbicos centrados a la cara, los planos de deslizamiento son los octaédricos, tales como *AED*, con tres direcciones de deslizamiento — *MN*, *PQ*, *RS* — en cada uno, paralelas a los bordes triangulares de los planos (figura 22). Esto conduce a la posibilidad de que un cristal esté orientado de manera tal que sea posible el deslizamiento en dos, y aun en tres, planos equivalentes, como se indica en la figura 11 para un monocristal de mercurio, y en la 13 para un monocristal de oro.

La tensión crítica de deslizamiento s ya definida varía desde 25 g/mm² hasta 1000 g/mm² para una serie de metales, desde el cadmio hasta el níquel, mientras que el cristal perfecto sometido a una fuerza de cizallamiento debiera, en teoría, ofrecer perfecta elasticidad hasta el 50% de su resistencia al cizallamiento y fracturarse a 100 kg/mm² o más. Por añadidura, se ha hallado experimentalmente que se produce en los monocristales un gran endurecimiento durante el proceso de deformación permanente. Un caso particularmente notable es el de la plata que comienza a deformarse a una tensión crítica de cizallamiento de 45 g/mm² y se fractura, tras un deslizamiento del 95%, a 4500 g/mm². Existe además un problema que se nos plantea en cuanto estudiamos un monocristal estirado y que es la causa de que el deslizamiento se produzca en capas, o «paquetes» como comunmente se las llama, lo que significa que ciertos planos de una serie que en un cristal perfecto habrían de ser equivalentes son más favorables al deslizamiento. La anchura de estos paquetes de deslizamiento a la temperatura atmosférica es del orden de 1 μ, pero se ha observado un notable aumento a elevadas temperaturas. La figura 14 muestra, por ejemplo, los gruesos paquetes obtenidos con molibdeno a 1000°. El deslizamiento en las regiones muy estrechas que separan los paquetes es muy marcado; las fotografías electronmicroscópicas de Heidenreich y Shockley [7] muestran que las láminas de aluminio (invisibles bajo un microscopio ordinario) que forman la región de resbalamiento son aproximadamente de 200 Å (unos 70 diámetros atómicos) y pueden desplazarse respectivamente en 2000 Å.

La anormal debilidad y la posibilidad de deformaciones permanentes muy grandes que, en general, caracterizan a los metales monocristalinos pueden explicarse únicamente si postulamos defectos en la estructura cristalina, desviaciones respecto de la red cristalina perfecta. Tales desviaciones se denominan generalmente «dislocaciones». La dislocación más simple en una red, de un tipo postulado por G. I. Taylor en sus investigaciones teóricas sobre la resistencia de los metales, puede ilustrarse con un caso bi-dimensional representado en la figura 23. Las filas superiores representan simbólicamente una red casi perfecta; en la fila séptima hay una expansión local en el espaciamiento atómico que resulta en una dislocación centrada en el punto marcado por la flecha, con una irregularidad correspondiente en la superficie del cristal representada por los átomos de la extrema izquierda. Debido a la modificación de las fuerzas atómicas causada por las posiciones anormales, el átomo marcado se halla sujeto con menos firmeza que en una red normal y es posible moverlo lateralmente con un cizallamiento horizontal relativamente pequeño, arrastrando con él los átomos vecinos de modo que el átomo siguiente se convierte en el centro de la dislocación, se mueve a su vez bajo la tensión cizalladora, y así sucesivamente, trasladándose horizontalmente la dislocación.

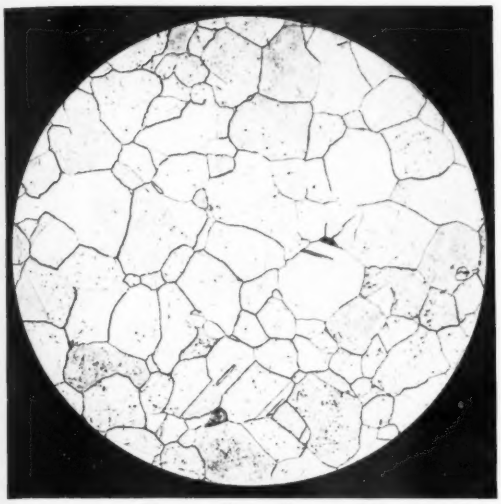
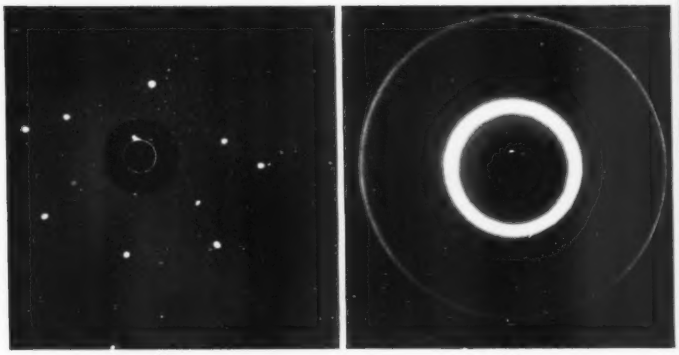


FIGURA 1 – *Plomo policristalino con delineación de los límites granulares.* (× 9)
(Por cortesía de la British Non-Ferrous Metals Research Association.)



(a) (b)

FIGURA 2 – *Radiografía de retro-reflexión de un alambre de oro:* (a) *Monocristal,* (b) *Estado policristalino.*
(Fotografía del Dr. C. Henderson, Carey Foster Laboratory.)

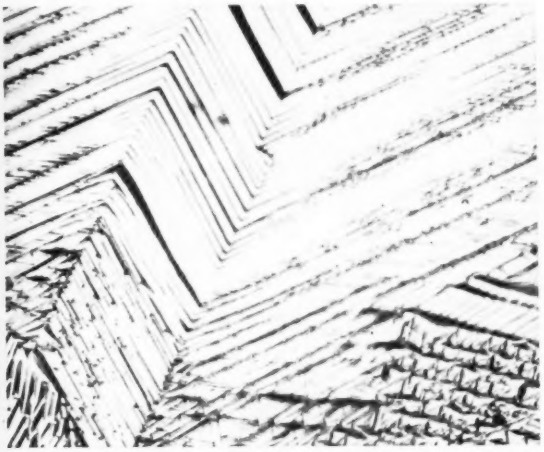
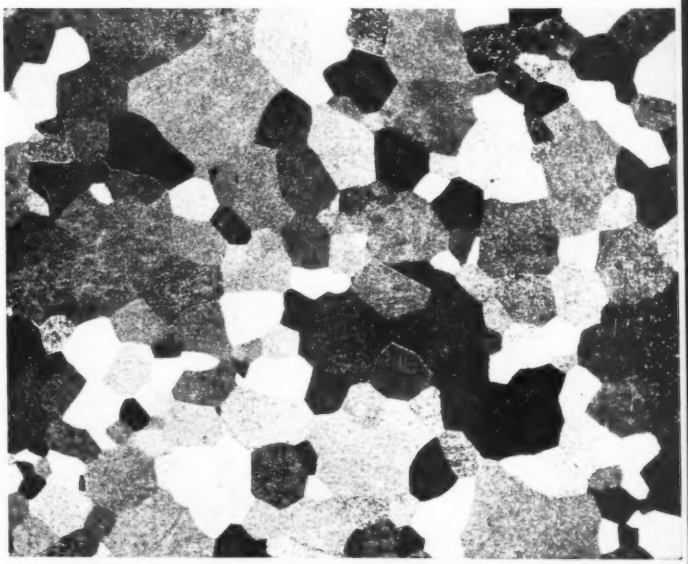


FIGURA 3 – *Plata delineada térmicamente en oxígeno.* (× 1500)
(Fotografía de Mr. R. King.)



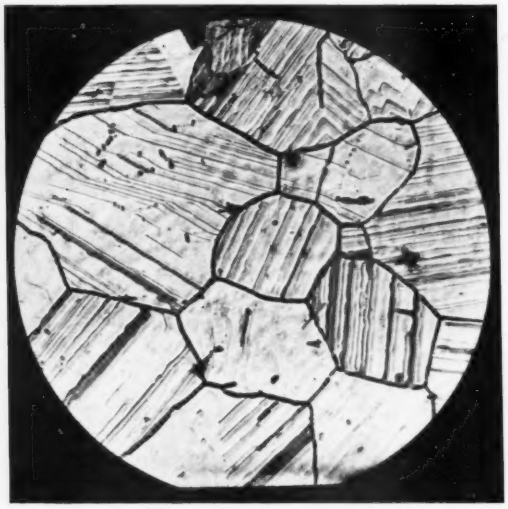


FIGURA 4 – *Plata delineada térmicamente en aire.* (× 540)
(Fotografía de Mr. L. Walden, Carey Foster Laboratory.)

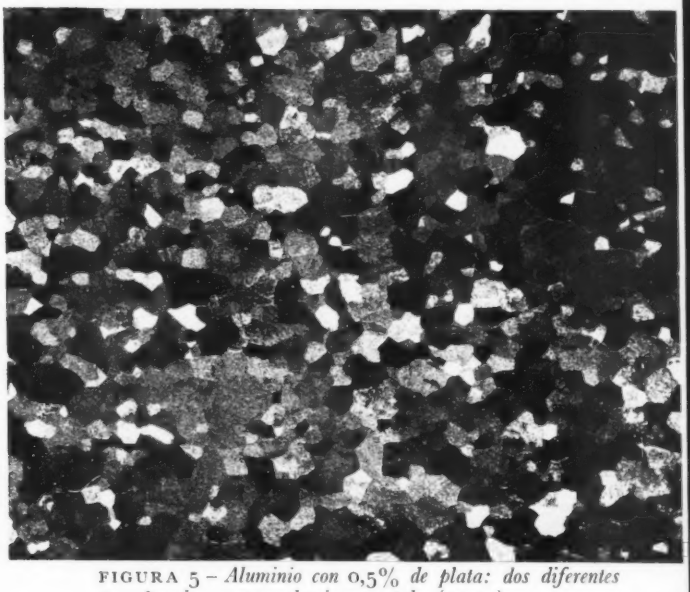


FIGURA 5 – *Aluminio con 0,5% de plata: dos diferentes tamaños de grano en el mismo metal.* (× 10)

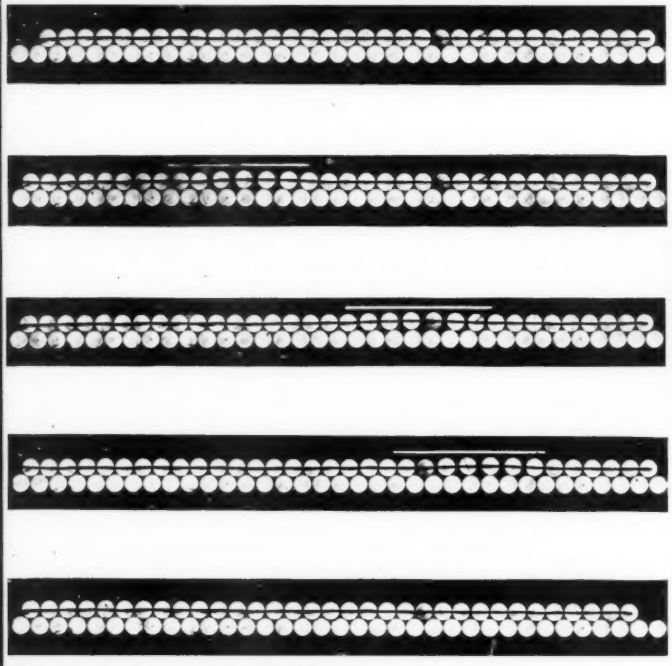


FIGURA 6 – *Modelo ilustrativo de la propagación de una dislocación lineal.*

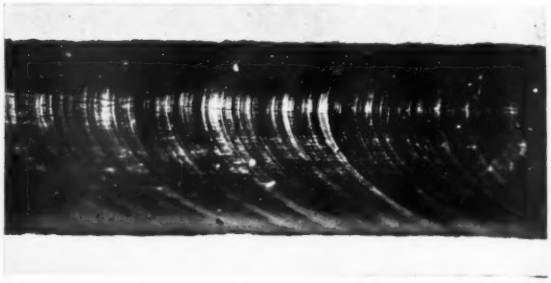


FIGURA 7 – *Monocristal de cadmio estirado en un 40%.* (× 30)
(Fotografía de Mr. L. Walden, Carey Foster Laboratory.)

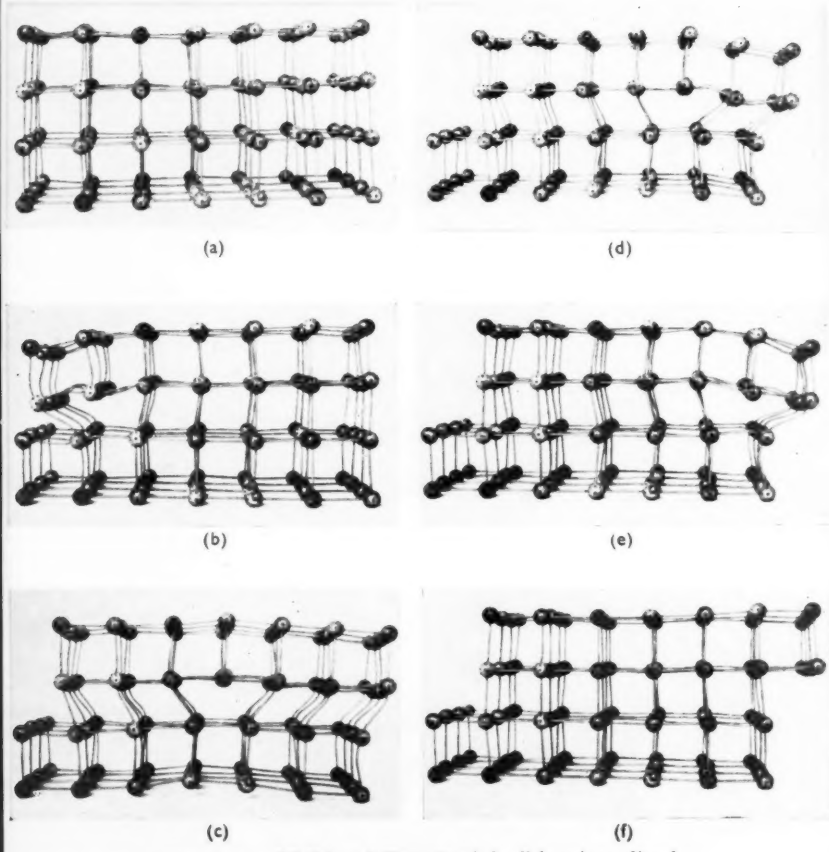


FIGURA 9 – *Modelo tri-dimensional de dislocaciones lineales.*
(Por cortesía del Dr. B. A. Bilby y The Institute of Metals.)

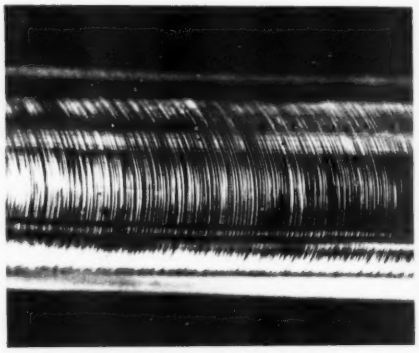


FIGURA 8 – *Monocristal de mercurio estirado.* (× 16)
(Fotografía del Dr. K. M. Greenland, Carey Foster Laboratory.)

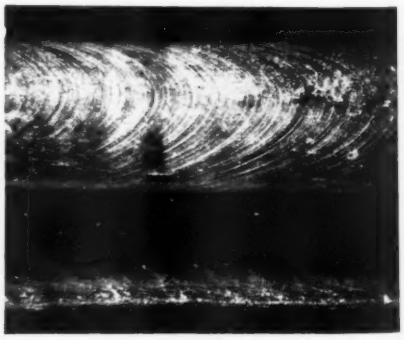
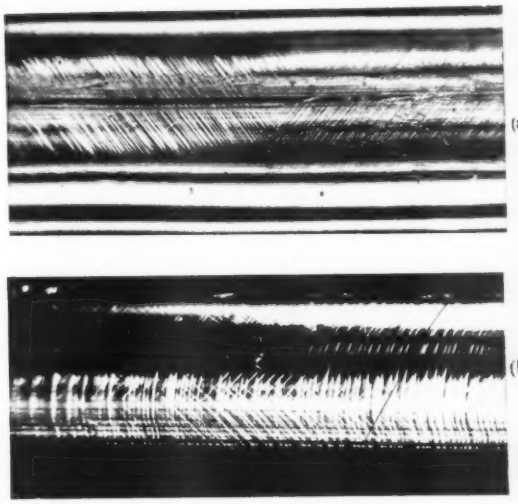


FIGURA 10 – *Monocristal de cadmio estirado en un 140%, visto por el lado ancho y por el fino.* (× 22)
(Fotografía de Mr. L. Walden, Carey Foster Laboratory.)

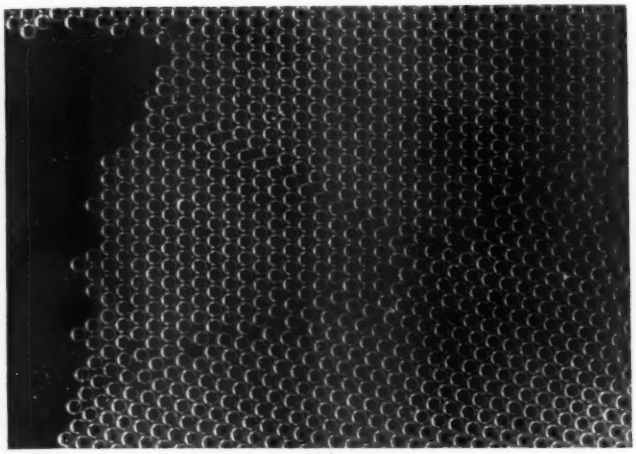
FIGURA 11 – (a) *Doble deslizamiento*, (b) *Triple deslizamiento, en un monocristal de mercurio.*

(Fotografía del Dr. K. M. Greenland, Carey Foster Laboratory.)

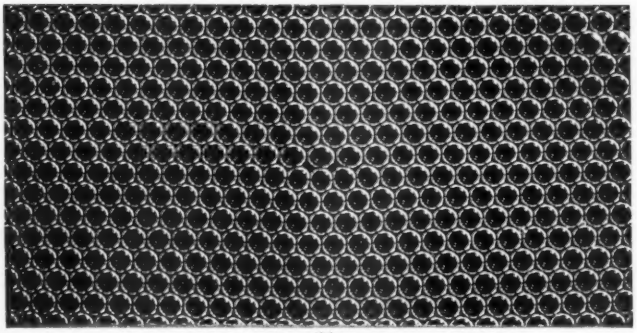


(a)

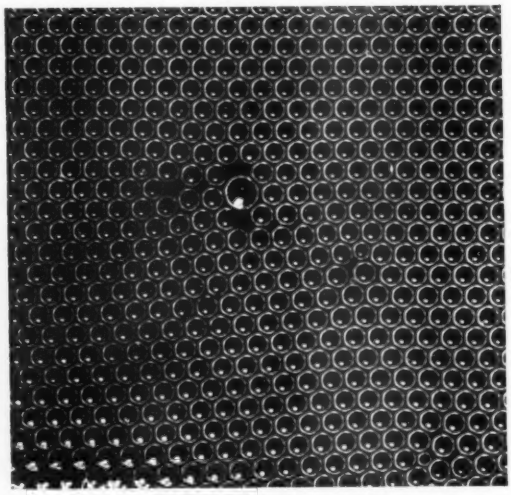
(b)



(a)



(b)



(c)

FIGURA 12 – *Modelo de burbujas:* (a) *Límite granular,* (b) *Dislocación, en el centro del cuadro,* (c) *Efecto de un átomo extraño mayor.*

(Por cortesía de Sir Lawrence Bragg, Dr. J. F. Nye, y The Royal Society.)

FIGURE 13 – *Deslizamiento triple en un monocristal de oro.* (× 1800)

(Fotografía del Dr. C. Henderson, Carey Foster Laboratory.)

FIGURA 14 – *Gruesos paquetes de deslizamiento en un monocristal de molibdeno a* 1000° *C.* (× 65)

(Fotografía de los doctores L. C. Tsien y Y. S. Chow, Carey Foster Laboratory.)

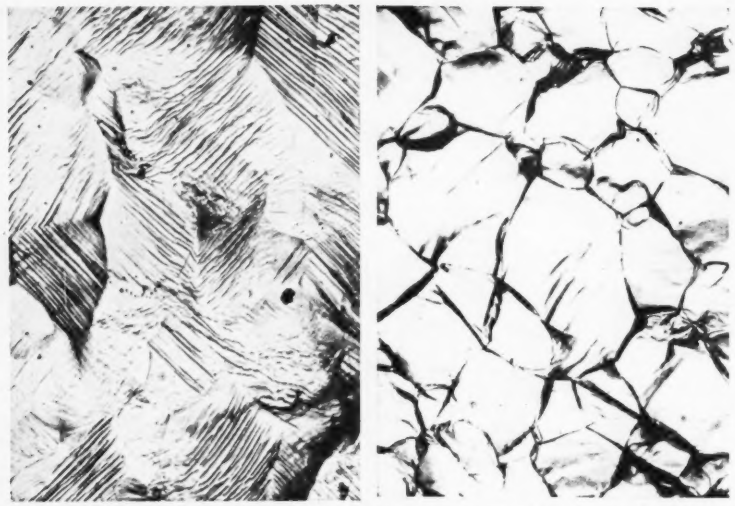
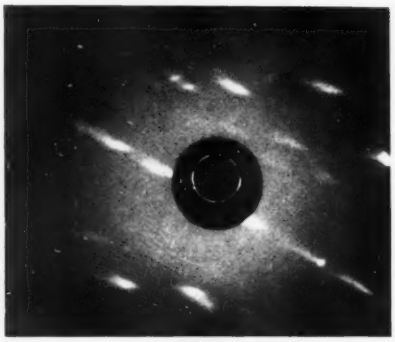


FIGURA 15 – *Aluminio* (a) *tras un rápido tensionamiento del* 9% *a* 200°, (b) *tras un rápido tensionamiento del* 8% *a* 500°. (× 100)

(Por cortesía del Dr. W. A. Wood y Mr. W. A. Rachinger, y The Institute of Metals.)

(a)



(b)

FIGURA 16 – *Fotografías de retro-reflexión (Laue) de un monocristal de plata,* (a) *sin estirar,* (b) *muy estirado.*

(Fotografía del Dr. C. Henderson, Carey Foster Laboratory.)

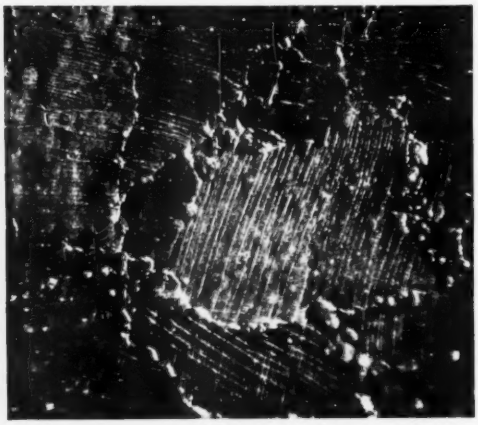


FIGURA 17 – *Líneas de deslizamiento en los granos del plomo policristalino.* (× 60)

(Fotografía de Mr. K. H. Jolliffe, Carey Foster Laboratory.)

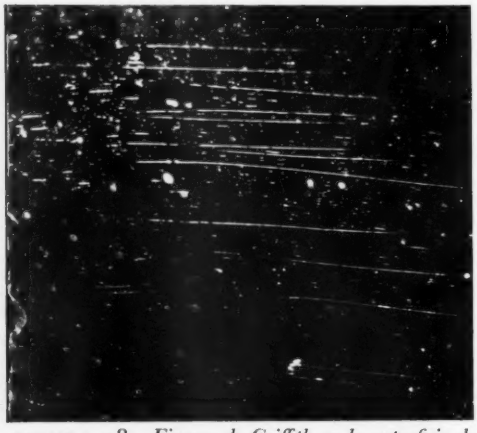


FIGURA 18 – *Fisuras de Griffith en la superficie de cristal «pyrex» reveladas por la acción del vapor de sodio.* (× 14)

(Fotografía del Profesor E. N. da C. Andrade y del Dr. L. C. Tsien.)

FIGURA 19 – *Resbalamiento en el plomo recristalizado, mostrando los límites anteriores.* *(Fotografía de Mr. K. H. Jolliffe, Carey Foster Laboratory.)*

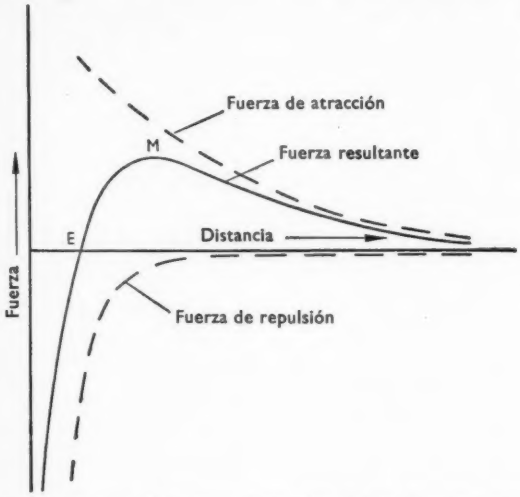


FIGURA 20 – *Diagrama ilustrativo de las fuerzas interatómicas.*

Para ilustrar el paso de una dislocación, que es una de las características fundamentales de las modernas teorías de la deformación y endurecimiento de los metales, yo construí hace tiempo un modelo dinámico que aparece en la figura 6 [8]. Los discos blancos de la fotografía son los extremos de unos cilindros de madera de unos 75 mm de diámetro; la fila inferior está fija y sobre ella descansa la superior con cada cilindro en un vano potencial (gravitacional). Los cilindros superiores se hallan además unidos por una cinta elástica negra fija al centro de cada cilindro y que representa las fuerzas interatómicas horizontales. Cuando la hilera superior está espaciada compactamente, como en la figura de arriba, es imposible hacerla ganar un espacio sobre la inferior por medio de un empuje lateral ordinario, ya que ello significaría que todos los cilindros habían de montarse sobre la cresta de los vanos en que descansan para caer en el vano siguiente. Pero si se produce una dislocación, marcada por el espaciamiento irregular de la hilera superior bajo la línea blanca en la segunda banda, el cilindro medio de la misma no se halla en un vano y es muy fácil moverlo hacia la izquierda, con lo que el centro de la dislocación se desplaza un lugar hacia la derecha.

El Dr. Bilby [9] ha construído algunos modelos tri-dimensionales excelentes para ilustrar distintos tipos de dislocación. La serie que representa la traslación de la dislocación lineal simple arriba estudiada aparece en la figura 9, donde (*a*) es la red perfecta; (*b*) la red con una dislocación lineal cerca del lado izquierdo; (*c*), (*d*), y (*e*) diversas fases de la traslación, y (*f*) el estado final causado por el paso de la dislocación.

Sir Lawrence Bragg y el Dr. Nye [10] han perfeccionado un método espectacular para demostrar numerosas propiedades de los cristales metálicos. Cada átomo está representado por una burbuja dentro de una «balsa» de burbujas muy uniformes producidas por un procedimiento especial. La figura 12 representa en (*a*) el límite granular, (*b*) una dislocación, (*c*) la alteración producida por un átomo mayor (extraño).

Esta concepción del deslizamiento causado por la traslación de dislocaciones explica la blandura de los monocristales metálicos y la razón de que los policristales sean más duros y de que, en general, un cristal de grano fino se deforme menos que los de grano grueso. Para la propagación de una dislocación es necesaria una estructura bastante regular que permita que el centro de la

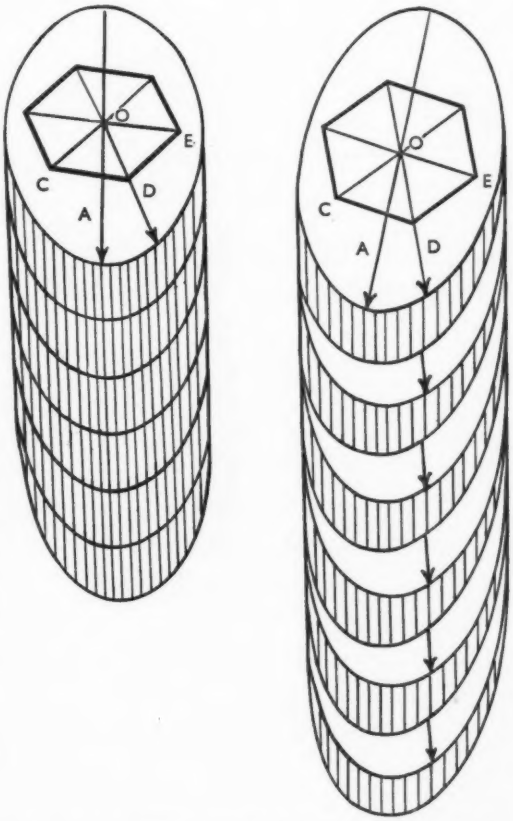


FIGURA 21 – *Diagrama ilustrativo del estiramiento de un alambre monocristalino de metal de estructura hexagonal.*

alteración se traslade sin cambio de un espacio al siguiente; la interrupción de la estructura cristalina regular en el límite granular detiene la propagación de la dislocación. Las líneas de resbalamiento dentro de los granos de un metal policristalino, y su terminación en el límite, aparecen bien ilustradas en la figura 17. Todo defecto de homogeneidad en la estructura puede asimismo endurecer el metal al detener la marcha de la dislocación; de este modo puede explicarse el endurecimiento de los monocristales por la existencia de impurezas: las tensiones locales producidas por los átomos extraños (figura 12(*c*)) detienen la traslación de las dislocaciones. El efecto mecánico de la precipitación de una solución sólida supersaturada de partículas que no encajan en la red — el llamado «temple por precipitación» — se ha atribuído a dichas tensiones locales, y Mott y Nabarro [11] han desarrollado una teoría matemática de dicho fenómeno.

Uno de los grandes problemas del estado monocristalino es el marcado endurecimiento que siempre se produce con tensiones permanentes. La tensión crítica de cizallamiento aumenta al deformarse el cristal por deslizamiento a temperaturas no demasiado elevadas (como regla general, una temperatura «alta» quiere decir, alta con respecto al punto de fusión). Hay bastantes pruebas de que dicho endurecimiento está relacionado con alteraciones locales de la estructura monocristalina. Se ha hallado que con cristales tensionados ya no se pueden obtener puntos de

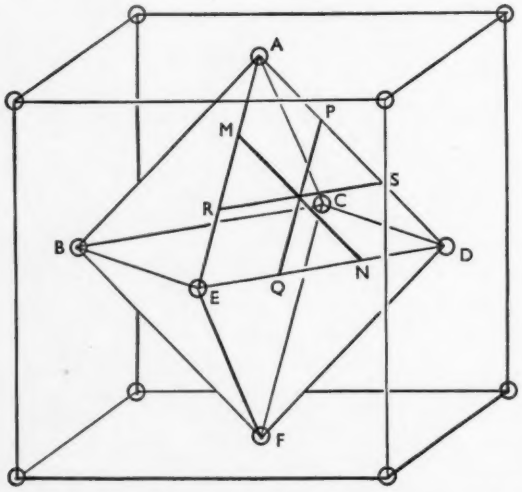


FIGURA 22 – *Elementos de deslizamiento de un metal de estructura centrada a las caras.*

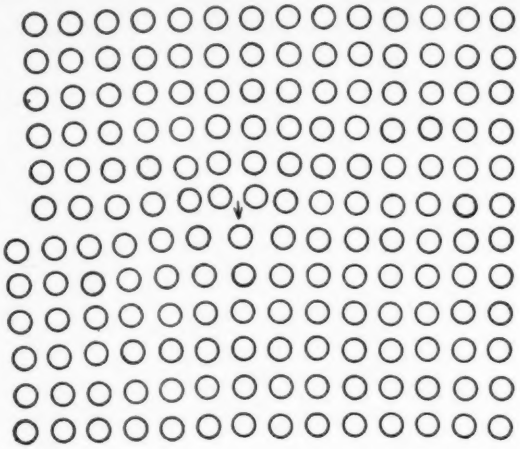


FIGURA 23 – *Representación diagramática de una dislocación lineal.*

Laue bien marcados, tales como los que aparecen en las figuras 2 y 16(*a*), sino que cada punto se emborrona hasta convertirse en una línea. Este corrimiento de los puntos, debido a la existencia en el cristal de planos girados en ángulos pequeños a partir del normal, se denomina «asterismo», del cual aparece un buen ejemplo en la figura 16(*b*). Se ha demostrado que el endurecimiento es proporcional a la extensión angular indicada por el asterismo; el endurecimiento de los monocristales tensionados será pues debido a que éstos pierden algo de su estructura monocristalina, con la consiguiente creación de obstáculos para la propagación de las dislocaciones.

El efecto descrito por Rehbinder de un agente de actividad superficial (tal como el ácido oleico) al promover la fluencia, que él atribuyó a la penetración del líquido por las grietas microscópicas, parece más bien deberse a la desintegración del óxido superficial. Randall y yo hemos hallado que la fluencia de los monocristales ordinarios de cadmio se aumenta por contacto con la superficie de electrolitos que contengan iones cádmicos, pero que si la superficie del alambre se limpia calentándola en el vacío hasta que se produzca considerable vaporización, no se observa dicho efecto [12]. Si se calienta en el aire un alambre de cadmio monocristalino de modo que se produzca una ligera oxidación superficial, se eleva la tensión crítica de cizallamiento. En breve, toda una serie de observaciones indican que la mayoría de las dislocaciones, si no todas, se inician en la superficie y que cualquier tipo de oxidación tiende a disminuir su efectividad.

Un efecto que debe tenerse en consideración en numerosos problemas de la resistencia metálica fué indicado por A. A. Griffith. La teoría matemática de la elasticidad muestra que, en un sólido, la tensión en el extremo de cualquier grieta o fisura es mucho mayor que el valor medio. En especial, en una grieta de sección elíptica, cuyos ejes mayor y menor sean a y b respectivamente, la máxima tensión, en la proximidad de la mayor curvatura, es $\sigma(1 + 2a/b)$, donde σ es la tensión en otro lugar muy alejado. De aquí que cualquier grieta o fisura pueda producir una tensión local muy elevada, siempre que — lo que muy a menudo se olvida — el material sea tratado como un sólido elástico. El blandeo plástico local invalidará totalmente, como es natural, estos cálculos. No se ha probado la existencia en los metales de fisuras superficiales microscópicamente invisibles, pero Andrade y Tsien [13] han probado que pueden revelarse en el vidrio por medio de la acción del vapor de sodio y por otros métodos (*Vid.* figura 18). Fisuras de tal finura se denominan «elevadores de tensión»; si sus dimensiones son atómicas pueden elevar localmente la tensión a un valor muy alto. Las grietas microscópicamente visibles tienen un papel muy importante en las fracturas por fatiga de los metales industriales. Una distribución de fisuras de Griffith de variada severidad sobre la superficie puede explicar porqué el deslizamiento se efectúa en paquetes más bien que uniformemente en todos los planos cristalográficamente equivalentes. Es ésta una cuestión muy complicada, pero hay bastantes pruebas de la existencia de fallas espaciadas como 1 μ en los metales monocristalinos. Las estriaciones en los granos de los cristales de plata de las figuras 3 y 4, reveladas por evaporación térmica, tienen aproximadamente dicha espaciación, así como las separaciones de las bandas de resbalamiento de la mayoría de los metales a temperaturas no demasiado elevadas, y también ciertas bandas reveladas por la delineación térmica de monocristales de cadmio [4]. Straumanis ha probado que los cristales de cadmio formados por evaporación (y por otros medios) se depositan en escalones de 1 μ de espesor.

Si el comportamiento del monocristal sometido a simples sistemas tensionales es tan complejo, no es extraño que los problemas de la metalurgia práctica, que tratan de sistemas policristalinos de numerosos componentes y bajo tensiones tan complicadas como las que se producen en el laminado, por ejemplo, sean de muy difícil tratamiento teórico. No podemos intentar aquí su estudio, pero debemos decir unas palabras acerca de un problema que ha asumido recientemente gran importancia en el terreno de la ingeniería, a saber: el flujo de metales sometidos a altas tensiones y temperaturas. La turbina de gas, en todas sus formas, depende de aceros que, a las temperaturas en cuestión, no deben «fluir» bajo las tensiones producidas por las altas velocidades de revolución. Aun en la utilización práctica de la energía nuclear aparece el problema del flujo metálico.

La mayor parte de los experimentos sobre el flujo se han realizado con barras cilíndricas sometidas a tensión. Si la fuerza de tensión es constante, como el área de la sección disminuye al extenderse la barra, la tensión por unidad aumenta con el tiempo, lo que complica la cuestión. Se han ideado diversos métodos para disminuir automáticamente la carga de modo que la tensión se mantenga en un valor unitario constante [14]. En tales condiciones, las curvas del plomo (figura 24) son típicas para toda una serie de metales puros. A baja temperatura (— 180°) se produce un grande e inmediato estiramiento seguido de un aumento de longitud a velocidad muy lenta que va decreciendo hasta alcanzar por último a cero. A una temperatura un poco más elevada (— 78°) el flujo es más marcado pero llega por último a ser muy pequeño. A la temperatura atmosférica, la velocidad de flujo es mucho mayor, aproximándose a una constante finita, mientras que a alta temperatura (160°) la mayor parte de la curva de flujo revela una velocidad constante. Las curvas de la figura 24 son solamente de cortos tiempos de flujo, pero las leyes que siguen han sido verificadas con duraciones mucho más largas. Las curvas indicadas son las del plomo, pero son representativas de todos los metales puros estudiados sistemáticamente: así, el flujo del hierro a 450° se asemeja al del plomo a 16°, y el del primero a 16° al de éste a — 180°.

El comportamiento de estos metales puede representarse mediante la ecuación:

$$l = l_0(1 + \beta t^{\frac{1}{2}})e^{kt},$$

donde l_0, β, y k son constantes. El término exponencial representa el flujo a una velocidad constante por unidad de longitud, y es causado por el hecho de que el flujo longitudinal aumenta durante el experimento; así, si $\beta = 0$,

$$\frac{1}{l}\frac{dl}{dt} = k.$$

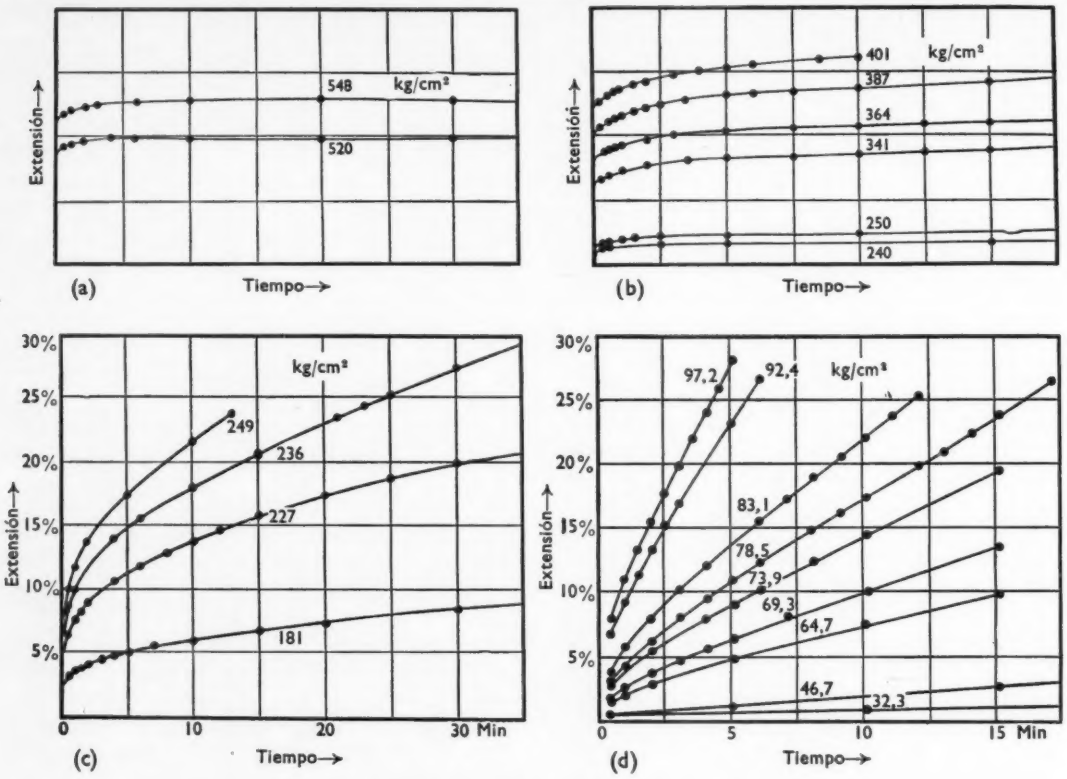


FIGURA 24 – *El flujo del plomo policristalino a diversas temperaturas y tensiones:*
(a) −182°, *no hay flujo permanente.*
(b) − 78°, *no hay flujo permanente.*
(c) 17°, *hay flujo transitorio y permanente.*
(d) 160°, *predomina el flujo permanente.*

La importancia de este análisis es que divide el flujo en dos partes: una proporcional a $t^{\frac{1}{3}}$, esto es, de rápida disminución en velocidad; y otra proporcional a t, esto es, que procede a una velocidad constante. La parte medida por β es llamada el flujo transitorio; la representada por k es el flujo quasiviscoso o permanente. A bajas temperaturas $k = 0$.

Hoy se acepta generalmente que el flujo transitorio se halla relacionado con el resbalamiento dentro de los granos, y el permanente con el movimiento relativo de los granos mismos [15]. Así, Hanson y Wheeler, trabajando con el aluminio hallaron que, a bajas temperaturas y rápida deformación (que favorecen el flujo transitorio) aparecían dentro de los granos líneas bien definidas de resbalamiento que terminaban en los límites, tales como las que aparecen en la figura 17; mientras que a altas temperaturas y lenta deformación (que favorecen el flujo permanente) los límites de los granos se acentúan mucho más, apareciendo finalmente fisuras inter-cristalinas. Ello aparece bien claro en ciertas fotografías, también del aluminio, debidas a Wood y Rachinger [16]. La figura 15(*a*) es una muestra de aluminio tras un rápido tensionamiento de 9% a 200°, que es una temperatura baja para el aluminio: las líneas de resbalamiento están bien marcadas en los granos. La figura 15(*b*), tras un rápido tensionamiento de 8% a 500°, que es una temperatura elevada: los límites son amplios y oscuros, pero hay escasas líneas de resbalamiento. Ya antes se había probado [14] que el flujo transitorio estaba relacionado con una rotación de los ejes en los granos, lo que está de acuerdo con el resbalamiento sobre los planos cristalinos. La ley de $t^{\frac{1}{3}}$ tiene en apariencia gran generalidad, pero hasta ahora no se ha establecido una teoría totalmente satisfactoria. El flujo metálico ha sido estudiado recientemente en mi laboratorio bajo condiciones de cizallamiento puro, habiéndose confirmado plenamente la ley de $t^{\frac{1}{3}}$. El flujo

permanente no tiene lugar con el sistema especial de cizallamiento usado, hecho que concuerda bien con la doctrina que lo atribuye al movimiento intergranular.

El flujo metálico se complica en muchos casos con el hecho de producirse una recristalización durante el movimiento del metal, especialmente en los aceros usados en la ingeniería de altas temperaturas; también tiene lugar durante el flujo que experimenta el plomo muy puro. En este proceso de recristalización, ciertos granos pequeños que no han sufrido distorsión tienden a extender su dominio a expensas de otros, con la consiguiente alteración de límites. La figura 19 es una notable fotografía tomada durante los experimentos que hemos realizado con cizallamiento puro: los límites cristalinos tan claramente marcados son los límites originarios; pero se ha producido una marcada recristalización, como prueban las líneas de resbalamiento, que en muchos casos cruzan enteramente la fotografía. Estas indican que un solo cristal domina ahora sobre la mayor parte del campo retratado, mientras que los aparentes límites granulares son sólo las viejas marcas superficiales — como viejos fosos sobre los que ha pasado el arado ahora que las pequeñas huertas de antaño se han unido en una gran granja. El flujo aumenta durante la recristalización: las características principales del flujo quedan ahora explicadas satisfactoriamente.

No es necesario señalar que este breve estudio no menciona numerosas e importantes aspectos de nuestro tema. El estudio de las propiedades mecánicas básicas de los metales ha adquirido gran importancia durante los últimos veinte años, llevándose a cabo activamente en las universidades de Cambridge, Bristol, Birmingham, y Londres, así como en numerosos laboratorios oficiales e industriales. En 1934, fecha de la Conferencia Internacional sobre el Estado Sólido de la Materia (Londres) apenas había un libro dedicado al aspecto físico de la resistencia metálica. En 1935 apareció el de Schmid y Boas, *Kristallplastizität*; y desde entonces han aparecido muchos en Inglaterra, Alemania, Francia, y Estados Unidos que tratan de lo que se denomina generalmente Física metálica, a pesar de que dicho término debiera incluir el estudio de las propiedades térmicas, ópticas, y eléctricas, además de las mecánicas. Después de un largo abandono, el interés e importancia de hallar una explicación a las más evidentes propiedades del estado metálico, muchas de las cuales fueron conocidas ya por generaciones anteriores, comienza a ser aceptado generalmente.

BIBLIOGRAFIA

[1] FINCH, G. I. *Trans. Faraday Soc.*, **33**, 425, 1937.

[2] HAUSSER, K., y SCHOLZ, P. *Wiss. Veröff. Siemens-Konzern*, **5**, 144, 1927.

[3] CHALMERS, B., KING, R., y SHUTTLEWORTH, R. *Proc. Roy. Soc.*, A, **193**, 465, 1948.

[4] ANDRADE, E. N. da C., y RANDALL, R. F. Y. *Proc. Phys. Soc. Lond.*, B, **63**, 198, 1950.

[5] AUST, K. T., y CHALMERS, B. *Proc. Roy. Soc.*, A, **201**, 210, 1950.

[6] OROWAN, E. *Rep. Phys. Soc. Prog. Phys.*, **12**, 185, 1949.

[7] HEIDENREICH, R. D., y SHOCKLEY, W. *Phys. Soc. Report on Strength of Solids*, 57, 1948.

[8] ANDRADE, E. N. da C. *J. Inst. Met.*, **60**, 427, 1937.

[9] BILBY, B. A. *Ibid.*, **76**, 613, 1950.

[10] BRAGG, L., y NYE, J. F. *Proc. Roy. Soc.*, A, **190**, 474, 1947.

[11] MOTT, N. F., y NABARRO, F. R. N. *Proc. Phys. Soc. Lond.*, **52**, 86, 1940.
MOTT, N. F. *Physica*, **15**, 119, 1949.

[12] ANDRADE, E. N. da C., y RANDALL, R. F. Y. *Nature*, **164**, 127, 1949.
HARPER, S., y COTTRELL, A. H. *Proc. Phys. Soc. Lond.*, B, **63**, 331, 1950.
MENTER, J. W., y HALL, E. O. *Nature*, **165**, 611, 1950.

[13] ANDRADE, E. N. da C., y TSIEN, L. C. *Proc. Roy. Soc.*, A, **159**, 364, 1937.

[14] ANDRADE, E. N. da C. *Ibid.*, **84**, 1, 1910; **90**, 329, 1914; (con B. CHALMERS) **138**, 348, 1932. *Phys. Soc. Report on Strength of Solids*, 20, 1948. *Nature*, **162**, 410, 1948.

[15] OROWAN, E. J. *West of Scot. Iron Steel Inst.*, 45, 1947.

[16] WOOD, W. A., y RACHINGER, W. A. *J. Inst. Met.*, **76**, 237, 1949.

La erosión terrestre

SIR CYRIL FOX

Estudio de la acción erosiva de los ríos cargados de depósitos, tomándose como ejemplo la excavación del Gran Cañón de Arizona. La erosión causada por aguas rápidas y limpias (regresión de las cataratas del Niágara). Ejemplos de erosión costera causada por las olas de tempestades y por las corrientes de las mareas en la India e Inglaterra. Deslizamientos de tierra y de grandes depósitos de lodo causados por grandes precipitaciones de lluvia. Movimientos y redistribuciones de masas de tierra como resultado de las erupciones volcánicas. Extensas erosiones producidas por la acción combinada de lluvias y corrientes; ejemplos de las mismas. Cálculo del tiempo necesario para que toda la masa continental quede erosionada hasta el nivel del mar.

INTRODUCCION

Durante los 120 años últimos los geólogos han usado el término «erosión» para designar los procesos de desgaste y acarreo de las substancias de la corteza terrestre, incluyendo en dicha palabra muy diversas acciones físicas y químicas: eliminación de materias solubles, cambios químicos, desintegraciones glaciales o por rápidos cambios de temperatura, desgaste por la acción de los granos de arena que arrastra el viento o los sedimentos de las corrientes, impacto y succión alternadas de las ondas de tormentas, deslices de tierras, etc. En los últimos 40 años se ha planteado la cuestión de si dicho término no debiera también incluir otros agentes de acción más rápida, tales como las explosiones volcánicas y las actividades mineras del hombre.

ELIMINACION DE MATERIAS SOLUBLES

En 1927 se investigó un hundimiento en Khewra, en los yacimientos saliníferos del Punjab, estudiándose un manantial que había aflorado en unas salinas próximas. Su caudal era de $2{,}1 \cdot 10^4$ cm^3/s, y arrastraba 256 kg de sal por m^3 de agua, lo que ascendía a 200 000 toneladas de sal por año (el doble de la cantidad producida en las minas) originando una cavidad del tamaño de la hondonada en que se había subsumido la aldea. No cabe duda de que dicho asentamiento había desviado la corriente subterránea hacia las galerías de la mina, pero el interés del caso estriba en su relación con un manantial de salmuera, por un lado, y por otro con la extracción de la salmuera de un lecho de roca de sal. La cal se disuelve de manera semejante, pero más lentamente, siendo la razón de solubilidad de la sal y del carbonato cálcico de 360 a 0,014. La cueva de Siju, en Assam, es la salida de una corriente subterránea que afluye al río Simsang, formada por casi 1600 m de cal nummulítica, con una sección media de 37,2 m^2, lo que representa un acarreo de unos 57 000 m^3 de roca. La alimenta una corriente, a través de un «desagüe», que arrastra cantos y cascajo de los declives gnéisicos de las Sierras de Tura y que se convierte en un torrente durante la época de lluvias. En condiciones normales podría calcularse la edad de la cueva en unos 25 000 años, pero en este caso en que la disolución la produce un enorme volumen de agua y existe la considerable abrasión causada por los acarreos gnéisicos sería más aproximado un cálculo de unos 5000 años.

GARGANTAS Y CANOÑES

Es a veces difícil explicar que un río haya cortado una garganta cuando, según el relieve topográfico, hubiera podido seguir un fácil rodeo. La velocidad erosional está influída por la naturaleza y estructura de las rocas y por las elevaciones o hundimientos regionales en progreso que puedan alterar el gradiente del río. El caso más espectacular es el del Gran Cañón del Río Colorado en Arizona, que se calcula tiene 483 km de longitud, 1 km de profundidad y 16 km de anchura, según el cálculo medio del volumen de roca arrastrada por la erosión de la corriente. En su mayor parte los estratos son areniscas paleozoicas relativamente blandas, esquistos y calizas, con una suave inclinación hacia el sudoeste, y algunos estratos pre-cámbricos (algonkianos) y arqueozoicos (gneis) en el fondo. El proceso de elevación de las Montañas Rocosas ha mantenido el gradiente del Río Colorado en la dirección del sudoeste. Sin embargo, es evidente que las aguas del río cargadas de depósitos han sido la principal herramienta en la excavación del Gran Cañón. En la actualidad, la carga arrastrada por el Colorado al Lago Mead se estima en 0,04 km^3

FIGU
cañón
como

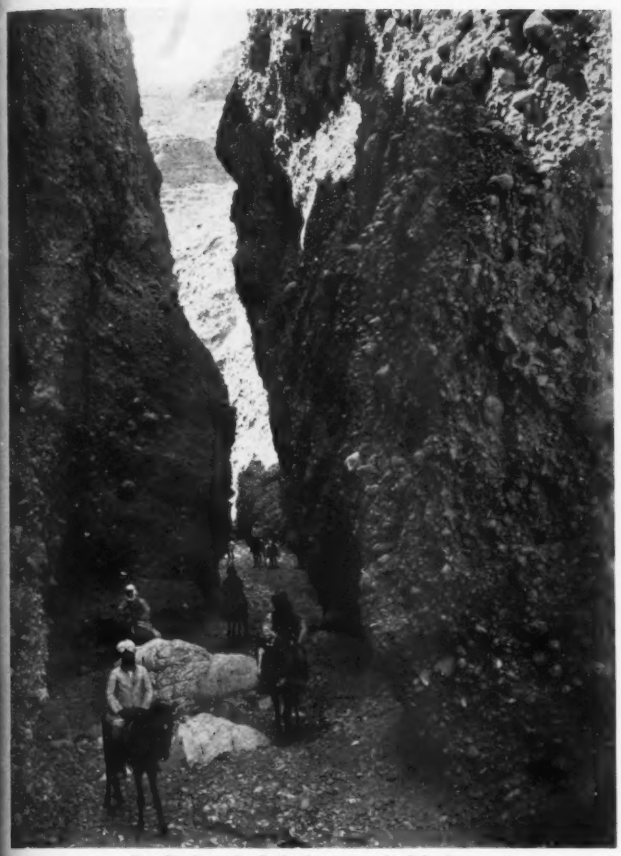


FIGURA 1 – *Desfiladero de Baluch, cerca de Mach, en el que se ve el cañón cortado por las crecidas ayudadas por un gran peñasco que acciona como una perforadora. (Fotografía de Cyril S. Fox.)*

FIGURA 2 – *Típico corte en V producido por la erosión de una corriente sobre una ladera. El agua ha arrastrado un abanico deltaico de escombros. (Fotografía de J. B. Auden.)*

FIGURA 3 – *Erosión causada por una pequeña corriente de desagüe de un dique, mostrando el efecto del arrastre de las juntas de tierra entre los bloques de arenisca en declive. (Fotografía de W. D. West.)*

FIGURA 4 – *Río himaláyico, el Sutlej, en Chabar al norte de Simla, que está re-excavando dos terrazas fluviales más antiguas. (Fotografía de W. D. West.)*

FIGURA 5 – *La hendedura de Chappar, bajo la Garganta de Lodo, en el ferro-carril a Quetta El arroyo que sale de la garganta ha cortado un arco en la caliza eocénica (Dunghan) con una incisión en V típica. (Fotografía de Cyril S. Fox.)*

anualmente. Si considerásemos dicha cifra media como válida también para el pasado, resultaría la edad de la garganta aproximadamente en unos 200 000 años. Como contraste tenemos el Río Niágara que al deslizarse sobre las calizas silúricas hacia las cataratas desde el Lago Erie corre claro y sin sedimentos. Al despeñarse más de 50 m en las aguas tumultuosas, junto con la acción de los bloques de roca caídos, se produce una enorme erosión en los esquistos de Medina, que causa la socavación de los estratos subyacentes y el retroceso de las cataratas. Los estratos paleozoicos se inclinan suavemente hacia el sudoeste, y la garganta más abajo de las cataratas tiene en la actualidad una longitud de unos 11 km. Se calcula el avance de las cataratas, visto desde el Lago Ontario, en unos 60 cm por año, con lo que la edad de las mismas resulta en unos 20 000 años. Debemos mencionar, sin embargo, que esta región sufre un movimiento elevatorio desde que la sábana de hielo canadiense (pleistoceno) se retiró lentamente y cesó de pesar sobre la corteza terrestre en Ontario. Dicho movimiento tendería a reducir el gradiente del Río Niágara.

EROSION EN LAS COSTAS

Numerosos ciclones procedentes de la Bahía de Bengala en dirección del delta del Ganges, moviéndose justo un poco antes de una alta marea, han forzado una onda tormentosa de 12 m en los estuarios y las bajas llanuras. El ciclón de 1864 dejó un barco de 2220 toneladas encallado en seco en Shalimar Point, cerca de Calcuta. Sin embargo, la destrucción de cosechas y ganados la causan principalmente las «resacas» o retiradas de la ola. La onda de retirada parece converger hacia una determinada posición fuera del delta cuya gran profundidad puede deberse a la erosión de las aguas de inundación. La erosión causada por las corrientes de marea y las ondas de tormenta quedó demostrada hace ya mucho tiempo cerca de Hilderthorpe, en la Bahía de Bridlington, Inglaterra; pero la severidad de su acción parece deberse a la ausencia de materiales suficientemente duros. Las pedregosas arcillas glaciales expuestas no contienen bastantes rocas para formar malecones protectores como el famoso de Chesil, en la costa de Dorset, barrera de cascajo que se extiende durante 29 km a lo largo de la costa desde Bridport a Abbotsbury y a la Isla de Portland, donde los guijos de cuarcita desaparecen en el mar, habiendo sido arrastrados por la erosión de las mareas más de 40 km desde Budleigh Salterton, bajo Lyme Bay, a lo largo del Chesil Bank hasta la Isla de Portland. En Budleigh Salterton las piedras caen desde los acantilados a la playa, que forma una barrera protectora de aquéllos. El material de los mantos de guijas (triásico) se deriva de una arenisca paleozoica (ordovicense), de modo que las guijas que hoy están formando el malecón fueron producidas hace más de 150 millones de años a base de material erosionado de rocas más viejas hace 400 millones de años.

DESLIZAMIENTOS DE TIERRAS Y LODOS

En ciertas regiones áridas donde se está llenando un ancho valle con lodo y grava, una repentina precipitación de lluvia puede convertir dicho material en un líquido que se mueve como una corriente de lava hasta distancias considerables. El «tajo de barro» del Beluchistán es famoso por sus esquistos piritíferos (eoceno) que, expuestos a la intemperie, se convierten en lodo; éste es un caso extremo de la transformación del suelo y subsuelo en una masa que no puede permanecer en reposo a partir de cierto ángulo por haber perdido su cohesión al ser inundada. En el caso del deslizamiento de Gohna, en Garhwal (Himalaya), la ladera la formaban desmenuzadas calizas dolomíticas y esquistos piritíferos, inclinados en un ángulo de 45° hacia el valle del Birahi Ganga. Tras un período de copiosas lluvias se produjo un plano sobre el que resbaló la masa superyacente por unos 910 m, elevándose aun a cierta distancia en la falda opuesta, y llenando el valle en una anchura de 3,2 km y hasta una altura de 260 m, con unos 5000 millones de toneladas de escombros de roca (2 km^3); se depositó asimismo un polvo blanquecino sobre toda una amplia región de los alrededores. El lago tardó un año en llenarse, pero cuando el agua desbordó la presa formada, apareció en ésta una brecha de 122 m de altura con gran rapidez, descargándose $340 \cdot 10^6$ m^3 de agua. Quizás el corrimiento de tierras más grande que se conoce es el llamado Saidmarreh de Luristan, Persia, ocurrido en tiempos prehistóricos. Queda una cicatriz de más de 14 km que indica una masa de 457 m de altura y 4 km de ancho. El material despeñado enterró la confluencia de los ríos Saidmarreh y Kashgan a más de 300 m. La garganta abierta por las aguas retenidas tiene todavía 122 m de altura y los escombros pueden hallarse sobre 166 km^2. La masa desprendida se calcula en más de 16,6 km^3.

EXPLOSIONES VOLCANICAS

El polvo volcánico de la violenta erupción del Vesubio en el año 79 (d.C.) enterró las ciudades

romanas de Pompeya, Stabiae y Herculano de modo tan completo que se perdió durante muchos siglos su emplazamiento. Más reciente, y aún más violenta, fué la explosión que hizo desaparecer la isla de Krakatoa en 1883. Se calcula que la isla medía 4,8 km por 8 km y que se elevaba unos 760 m sobre el nivel del mar, y que la cavidad que quedó en el fondo del mar después de la explosión es de 305 m. El volumen de lava, pómez y polvo desalojado por la explosión se estima en más de 20 km^3. El polvo volcánico alcanzó una altura de 27,4 km, y las olas ocasionadas se elevaron en las costas adyacentes hasta 24 y 30 m. La oscuridad causada por el polvo se extendió hasta un radio de 40 km, y dos semanas después de la explosión el pómez que flotaba en la Bahía de Lampong, a 80 km más al norte, formaba una capa de más de 4 m de espesor. Otra explosión ocurrida en Alaska en 1912 en el Monte Katmai dejó un cráter de 4,8 km de anchura y 1128 m de hondo; la isla de Kodiak, a 160 km de distancia recibió una capa de polvo de más de 30 cm.

EROSION DE LOS RIOS

La erosión de la lluvia y de los ríos es un trabajo lento y gradual, por lo común, pero es necesaria una lluvia copiosa e inundaciones para arrastrar las rocas descompuestas y los detritus. La figura 1 muestra un desfiladero de Baluch, cerca de Mach, que quedó rápidamente cortado por las enormes inundaciones producidas por cualquier lluvia copiosa en tan árida región. El «secreto del abismo» es el gran guijarro que se ve en el suelo, al que elevan y hacen girar las aguas arremolinadas en ese punto, convirtiéndolo en una verdadera perforadora que trabaja contra el lecho y profundiza el desfiladero con cada inundación Otro ejemplo semejante se descubrió al construirse el Dique Hoover en el Black Canyon: se halló bajo 12 m de arena una pieza de madera aserrada que descansaba sobre el lecho de roca viva, debajo del cual se descubrió asimismo otro cañón interior que se extendía a una profundidad de 21 m bajo el lecho principal. Las marcas en las paredes de dicho cañón y la presencia del madero indicaban que la masa toda de arena que cubría el lecho de roca viva del Black Canyon debía de moverse turbulentamente a lo largo de la garganta siempre que el Río Colorado llegaba muy crecido. Desde que se han construído varios diques y los pantanos de los mismos actúan como depósitos de sedimentos — el Lago Mead sobre el Dique Hoover y el Lago Havashu sobre el Dique Parker, etc. — es de notar que el río está re-excavando ahora sedimentos que antes había depositado como lecho. Dicha erosión se produce bajo los diques, ya que el río no rellena ahora los depósitos que las crecidas solían arrastrar.

La erosión de una larga cuenca fluvial: el Mississippi ($5 \cdot 10^6$ km^2) con su región oriental húmeda y las áridas llanuras occidentales, asciende anualmente a 31,5 toneladas de material disuelto, 113 de sedimentos en suspensión, y 13 de carga pesada por cada km^2; todo ello va a dar en el Golfo de Mexico. Las cifras totales del Nilo, que recibe sus crecidas y sedimentos casi enteramente de la erosión de las mesetas de Abisinia durante la época de lluvias, ascienden anualmente a $58 \cdot 10^6$ toneladas de sedimentos finos y $20 \cdot 10^6$ de material en solución, de la mitad de la cuenca total de $3{,}88 \cdot 10^6$ km^2, en Aswan. El lecho del Nilo está sometido a la erosión desde Khartoum a Aswan, produciéndose la re-excavación de aluviones más antiguos entre Aswan y Cairo. Dicha erosión parece debida al rejuvenecimiento causado por un aumento del gradiente fluvial que resulta del peso de los aluviones deltaicos por un lado, y por otro del aligeramiento (por erosión) de la región del sudeste y sur de Aswan.

Si aceptamos que 118 toneladas de material son barridas anualmente por km^2 de superficie sólida de la tierra ($149 \cdot 10^6$ km^2) — calculando 82,6 toneladas de materia en suspensión, 23,6 de material disuelto, y 11,8 de carga pesada — la erosión total anual alcanzará a 9,05 km^3. Calculando que la elevación media de la superficie sólida sobre el nivel del mar sea de 0,8 km, su volumen será de $119 \cdot 10^6$ km^3, que según los cálculos de erosión arriba indicados quedaría reducida a un nivel cero en menos de $14 \cdot 10^6$ años. Es evidente que, dado que un área considerable de la superficie terrestre — deltas, desiertos, lagos y cuencas hidrológicas interiores, y las regiones glaciales de las zonas polares — no se halla sometida al proceso de erosión activa, el cálculo anterior es demasiado elevado. Pero si aceptamos tan sólo una cuarta parte de la cifra indicada, las masas continentales quedarían reducidas, en teoría, al nivel cero en $60 \cdot 10^6$ años desde el comienzo del período eocénico.

Ecología de los infusorios ciliados

E. FAURÉ-FREMIET

El desarrollo de los infusorios ciliados diseminados en todos los medios acuáticos se determina principalmente por su abastecimiento de alimentos. Estudio del mecanismo ingenioso y especializado de captura e ingestión de alimentos y su comportación subsiguiente. Atención particular dada al fenómeno de la microbiocenosis, asociación de infusorios con una gran variedad de otros organismos vegetales y animales pequeños, mediante la cual se cumple la realización mutua de las necesidades nutricionales.

La gran variedad de formas de los ciliados permite su adaptación a una igual variedad de lugares; pero aun cuando es fácil distinguir las formas planktónicas y litorales, las especies móviles y las sedentarias, aquéllas cuyos hábitos de alimentación, si bien generalmente fagotróficas, se las describe con más precisión como micrófagas o macrófagas o histiófagas (devoradores de tejidos), etc., queda mucho que aprender sobre la ecología de estos organismos.

En este respecto el pequeño tamaño y la rapidez de multiplicación de los ciliados permiten a su población y asociaciones desenvolverse en poco tiempo y en espacio reducido. Esta circunstancia es muy favorable para el estudio de las relaciones y dependencia mutuas que se establecen no sólo entre las diferentes especies de infusorios, sino también entre ellos y otros organismos de tamaño pequeño, animales o vegetales, cuya reunión total constituye lo que podríamos llamar una microbiocenosis.

Los ciliados están diseminados muy extensamente en todos los parajes acuáticos; entre otras investigaciones, las de L. Noland, Wang y Picken muestran que en relación con varios factores fisico-químicos como luz, temperatura, *p*H, salinidad y contenido de oxígeno y anhídrido carbónico del agua, su margen de tolerancia es bastante elevado.

Parece por esto que las condiciones de alimentación representan el factor principal que influencia la comunidad y su situación eventual dentro de ciertos biotopos limitados. Por desgracia, nuestro conocimiento de la fisiología alimenticia de los ciliados es con harta frecuencia inseguro, y el ejemplo siguiente pone en claro el significado ecológico de este hecho. Los *Ophryoglenidae* son ciliados que se encuentran frecuentemente en aguas dulces y saladas, pero casi siempre como individuos raros y dispersos, cuya identificación específica es difícil a partir de las descripciones dadas por los autores antiguos. Las investigaciones llevadas a cabo en mi laboratorio por Hélène Mugard demuestran que los *Ophryoglenidae* se caracterizan por un ciclo fisiológico peculiar, del que previamente no se había sospechado. Algunas veces estos infusorios se encuentran en el agua clara en la forma de individuos alargados y transparentes, nadando a gran velocidad, a los cuales estamos tentados de considerar esencialmente planktónicos; de hecho, son cazadores o animales de presa. Si por casualidad alguno llega cerca de un organismo herido o de restos animales, se desarrolla un estímulo quimiotáctico, debido a algún compuesto orgánico difusible que lo atrae hacia los tejidos heridos; su aspecto cambia al instante, y entonces ataca los tejidos con un movimiento de barrena, se introduce por entre las células e ingiere vorazmente los detritus. El infusorio repleto se vuelve espeso y opaco, se hace irreconocible hasta el punto de aparecer como de otra especie; se marcha lentamente del lugar de su alimentación, enquistándose debajo de la superficie; allí digiere su comida y experimenta luego dos o tres divisiones sucesivas que originan cuatro u ocho organismos nadadores parecidos al progenitor, los que muy pronto se ponen en busca de alimentos.

Tales ciliados histiófagos han permanecido largo tiempo sin ser reconocidos. Precisaron observaciones de su ciclo vital *in vitro* para definir las especies y ver la importancia de la parte que desempeñaban en la economía de las pequeñas comunidades acuáticas.

Los ciliados micrófagos son, con mucho, los más frecuentes y más ricos en especies variadas. Se alimentan de diminutas partículas orgánicas y bacterias en suspensión, que atraen hacia su boca mediante una corriente originada por el movimiento de sus cilios. Otras especies son macrófagas; algunas son herbívoras, alimentándose de diatomeas, desmidas, *Oscillatoria*, etc.; otras son

carnívoras y se alimentan de otros infusorios. Algunos son capaces de agarrar grandes presas, que con frecuencia aturden con una descarga de tricocistos tóxicos antes de engullirlas. Las observaciones microcinematográficas hechas por J. Dragesco demuestran de un modo sorprendente su voracidad.

Es digno de notarse que, para gran número de ciliados, ya micrófagos o ya de presa, el alimento no puede ser fortuíto y que ciertas presas, cuya especificidad puede muy estrechamente determinarse, son esenciales para el sostenimiento de una especie dada. Este hecho puede asociarse con cierta peculiaridad estructural que influencia la captura y la ingestión, pero más frecuentemente puede atribuirse a una peculiaridad bioquímica.

Las magníficas investigaciones llevadas a cabo en los laboratorios de A. Lwoff y de G. W. Kidder sobre la nutrición de los ciliados en un cultivo estéril, muestran, en efecto, que muchos de ellos tienen sólo un restringido poder de síntesis. Su mantenimiento requiere el acopio de substancias complementarias o factores de crecimiento elaborados ya por las bacterias, ya tal vez por algas, o bien por otros ciliados. Parece así que las substancias esenciales alimenticias pueden crear estados de interdependencia nutritiva más o menos estrechamente específicos. Estas relaciones mutuas son en general el principio de toda microbiocenosis.

Hay en las aguas dulces diferentes tipos de asociaciones cuyos principales constituyentes son los protozoarios y los protofitos; un caso relativamente simple es la asociación de *Beggiatoa*. Las bacterias sulfurosas incoloras *Leucothiobacteriales* se desarrollan con frecuencia como placas blancas felpudas sobre el cieno negro, rico en materia orgánica y cubierto de agua corriente somera. Su presencia demuestra la preexistencia en el cieno de bacterias anaeróbicas capaces de descomponer la materia orgánica formando el hidrógeno sulfuroso que los *Beggiatoa* utilizan en la respiración. Las placas blancas se desarrollan, pues, como resultado de una asociación bacterial. Su aspecto depende de las propiedades peculiares a las bacterias sulfurosas, cuyos largos filamentos se mueven lentamente sobre la superficie del cieno, embrollándose y formando un fieltro, cuyo contorno y espesor se regula por una tendencia doble: esparcimiento sobre el substrato y condensación superficial. La colonia de *Beggiatoa* retiene el agua que se renueva lentamente; la adición de rojo de fenol da en el borde de la colonia un tinte amarillo que indica un *p*H ligeramente más ácido (cerca de 6,8) que el del medio acuoso. Esta acidez debida al metabolismo del *Beggiatoa* provoca una enjambrazón quimiotáctica de dos especies comunes de ciliados micrófagos, el *Colpidium campylum* y el *C. colpoda* que se acumulan alrededor de la colonia, la penetran y se alimentan vorazmente de las pequeñas bacterias que la componen. Desde este momento empiezan a actuar dos efectos ecológicos — la formación de una cadena de alimentación y la iniciación de la microbiocenosis. La multiplicación de estas dos especies de *Colpidium* en este medio favorable tiende a una gran densidad de población; debe notarse que esta densidad es el resultado no sólo de una multiplicación sino también del equilibrio estatístico entre las entradas y salidas de organismos móviles que permanecen por un tiempo más o menos largo en el fieltro de filamentos bacteriales en los que encuentran su alimento. Las dos especies de *Colpidium* no parece que se estorben mútuamente. Tampoco su presencia parece perjudicar los *Beggiatoa*; antes al contrario, porque los movimientos de los infusorios aseguran la renovación del agua dentro de la colonia y preservan su forma y actividad.

El equilibrio de la asociación se modifica pronto con la llegada de nuevos individuos que pertenecen a la clase de infusorios de presa. Estos voraces ciliados están de ordinario ampliamente diseminados. Algunos como el *Enchelys mutans*, *Lionotus lamella* y *Leucophrys patula* se alimentan casi exclusivamente del *Colpidium campylum*. Si alguno de estos ciliados penetra en las inmediaciones de la comunidad del *Beggiatoa*, empieza a alimentarse de su presa ordinaria y su rapidez de reproducción es suficiente para asegurar una casi completa destrucción de *C. campylum*.

Estas tres especies rapaces son en apariencia equivalentes e intercambiables si se considera tan sólo el efecto ejercido por uno u otro sobre el equilibrio de la asociación original, pero si dos de ellas intervienen simultáneamente, ya no sucede así. Los experimentos llevados al cabo por J. Ducornet comprueban, por ejemplo, que el *Lionotus lamella* es capaz de atacar el *Leucophrys patula* y que este último puede también engullir pequeños *Lionotus*; en este caso la presa ingerida devora y mata a su atacante de manera que la lucha es generalmente fatal al *Leucophrys*. La destrucción del *Colpidium campylum* limita automáticamente por falta de alimentos la multiplicación de los *Lionotus* y parece que indirectamente retarda la del *Colpidium colpoda*.

Dos nuevas especies se infiltran entonces dentro

FIG
Car

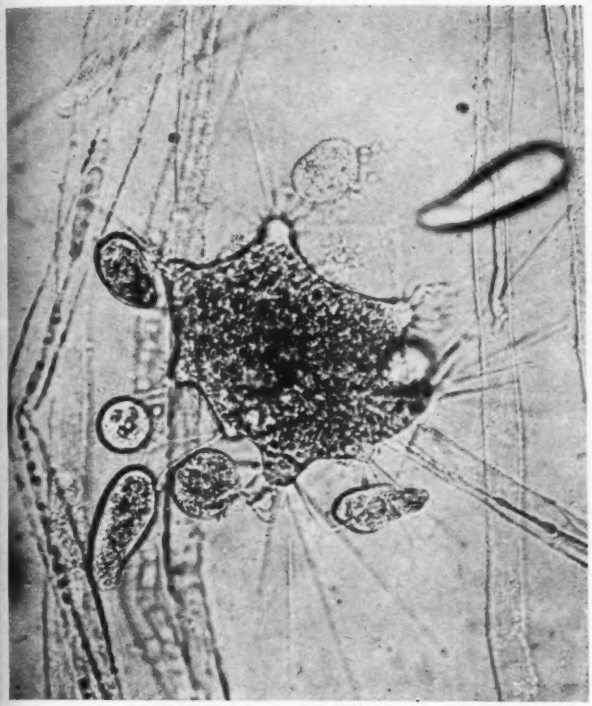


FIGURA 1 – Trichophrya epistylidis *sobre pedúnculos de* Carchesium, *capturando y chupando el* Colpidium campylum.

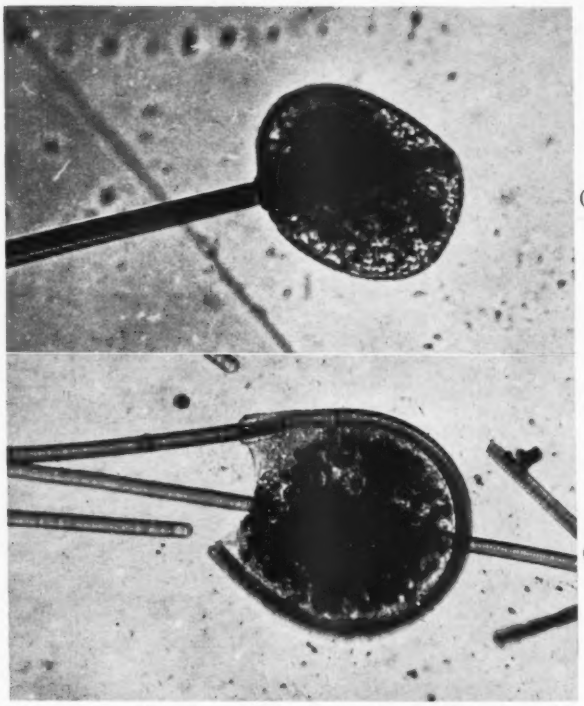


FIGURA 2 – Nassula ornata *ingiriendo* Oscillatoria. (*a*) *Principio de la ingestión.* (*b*) *El cuerpo del infusorio se deforma por la elasticidad del tricoma.*

FIGURA 3 – Coleps hirtus *visto con luz refractada, después de incineración para mostrar el esqueleto calcinado.*

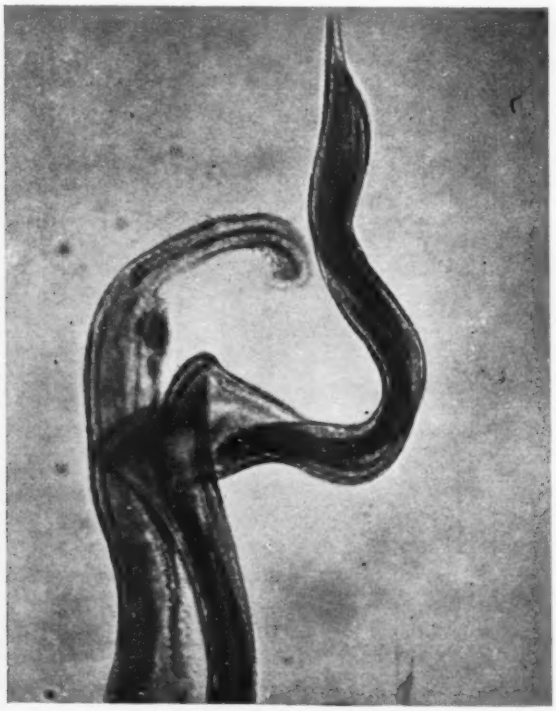


FIGURA 4 – Centrophorella fistulosa, *infusorio muy grande, cintiforme, característico de las arenas finas del mar.*

FIGURA 5 – *Un Ofrioglénido.* Deltopylum rhaboides *atacando el tejido intestinal de una larva de Quironomo. (a) Individuo de presa entrando en contacto con el tejido. (b–d) Individuos ingiriendo tejidos, vistos en diferentes estados de repleción.*

FIGURA 6 – Colpidium colpoda *y* C. campylum. *Impregnación argéntica de los cilios por el método de Chatton y Lwoff.*

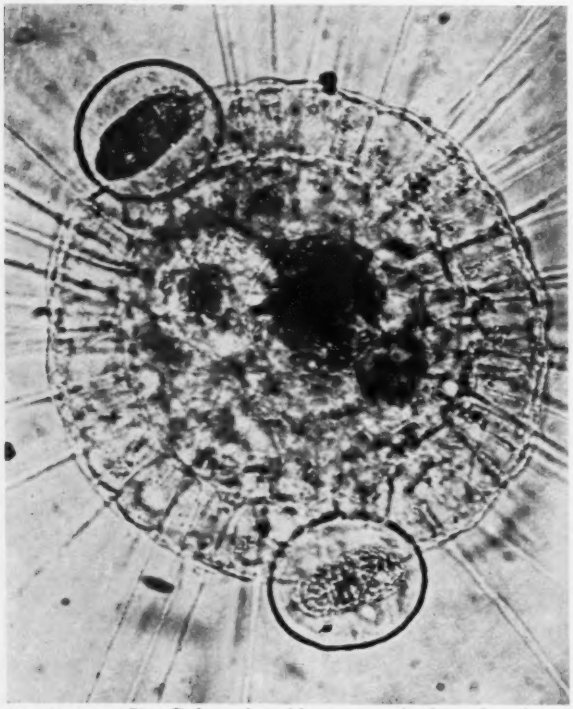


FIGURA 7 – *Dos* Coleps *ingeridos por un* Actinosphaerium. *Ilustración de la continuación de una cadena alimenticia.*

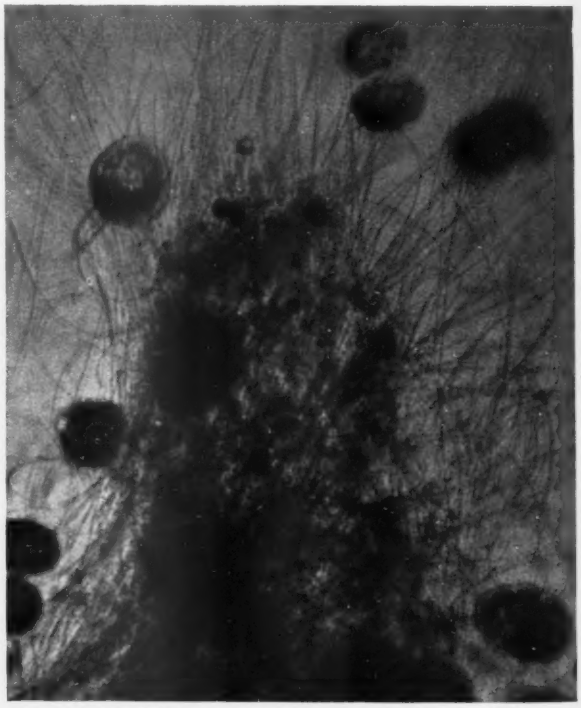


FIGURA 8 – Glaucoma *sp. ramoneando sobre el fieltro de* Beggiatoa. *La acumulación de granitos sulfurosos refringentes tiñe intensamente los infusorios.*

de la colonia de infusorios, ya diezmada. Una de ellas es una especie de *Glaucoma* que se alimenta exclusivamente de *Beggiatoa*; la otra es la *Chilodonella cucullulus*, que utiliza las mismas bacterias sulfurosas. Estas dos especies atacan el fieltro orgánico que es el soporte de la asociación, y su multiplicación rápida provoca con su destrucción el fin de la biocenosis, los restos de la cual son ingeridos por el último ocupante, un ciliado detritívoro, el *Coleps hirtus*, quien a su vez se multiplica.

Este no constituye un ejemplo aislado. Picken ha estudiado otros dos tipos de microbiocenosis, la «asociación fúngica» en la cual el substrato orgánico está formado por la red miceliana de *Sphaerotilus natans*, y la asociación azul-verdosa cuyo substrato se forma con los filamentos de *Cyanophyceae*. El alimento básico, constituído en el primer caso por bacterias y en el segundo por diatomeas, es utilizado por varias especies de protozoos y más especialmente por ciliados que forman así cadenas de alimentos diferentes continuadas luego por rapaces carnívoros. De aquí que «la reunión de Protozoos . . . no es una colección de individuos que dependen directamente, en su mayor parte, de un solo manantial de alimentación, sino que es una comunidad diferenciada de herbívoros y carnívoros que integran con el acopio de alimento básico una íntima unidad social». Esta conclusión es igualmente válida para los *Beggiatoa*. En cada una de estas biocenosis, cada especie asociada desempeña, como sugiere Picken, un papel definido o realiza, podría decirse, una función particular, cuyo carácter depende de sus necesidades nutricionales específicas y cuya relativa importancia está ligada con su capacidad de reproducción. En cada tipo de comunidad la distribución funcional de las especies tiene una estructura social característica; pero varias especies, equivalentes e intercambiables, pueden desempeñar un papel parecido, de manera que la composición específica de una asociación puede variar sin modificar la estructura social, comparable con la convergencia de las cadenas alimenticias en la forma piramidal (Elton).

Paralela con su estructura social, las asociaciones tienen una estructura física cuyas características dependen de la naturaleza del substrato orgánico: el micelio de los hongos, los filamentos del *Cyanophyceae* o, como en el caso precedente, el fieltro afelpado de *Beggiatoa*. Picken hace hincapié en el papel importante desempeñado por esta estructura reticular que permite el movimiento en respuesta al estímulo de contacto tan común entre los Protistos, y que aprisiona dentro de su malla una masa líquida que forma, como quien dice, el centro íntimo de la biocenosis.

Los grandes infusorios sedentarios como el *Stentor*, lo mismo que las colonias ramosas de *Carchesium*, *Epistylis* y *Opercularia* desarrolladas en superficies sumergidas, pueden constituir un substrato orgánico provechoso para ciertas asociaciones. Las poderosas corrientes de agua producidas por los movimientos ciliares de los zooídeos, fuerzan hacia el fondo un gran número de partículas, bacterias y diatomeas, que cubren enseguida el substrato y son usados por diversos ciliados nadadores, micrófagos o herbívoros que forman la población flotante. Esta a su vez es explotada por protozoos tentaculados, comensales de colonias de Vorticelas, o por varios predatores especiales, algunos de los cuales atacan incluso las colonias mismas de zooídeos.

Las asociaciones de ciliados planktónicos no son menos interesantes que la biocenosis litoral; en ellas también pueden establecerse cadenas alimenticias convergentes, si bien la estructura física de estas asociaciones difusas puede casi compararse a la de una solución. El caso de los infusorios que hacen su vivienda en la arena (E. Fauré-Fremiet, 1950), y su asociación trófica con los flagelados y las bacterias, presenta un caso parecido en un medio muy diferente: las arenas de la playa, por ejemplo, actúan como medio solvente. El mesopsamon (comunidad que habita entre los granitos de arena) puede compararse, de hecho, con un plankton sólido.

Si la ecología de los ciliados está claramente dominada por sus exigencias nutritivas, no debe olvidarse que la sorprendente plasticidad de estos organismos acelulares les ha permitido la realización de formas específicas muy diversas y curiosamente adecuadas a las condiciones de su medio.

BIBLIOGRAFIA

FAURÉ-FREMIET, E. «Comm. Bassin de la Seine». 1945.
Id. J. Anim. Ecol., **17**, 127–30, 1948.
Id. Bull. Biol., 1950 (en prensa).
MUGARD, H. *Ann. Sci. Nat.*, B, **10**, 171–268, 1949.
NOLAND, L. E. *Ecology*, **6**, 437–52, 1925.
PICKEN, L. E. R. *J. Ecol.*, **25**, 368–84, 1937.
WANG, CHAI CHI. *J. Morph.*, **46**, 431–78, 1928.

La técnica del tinte biológico

H. GRAHAM CANNON

El antiguo método por el cual se montan en bálsamo del Canadá plantas y animales pequeños, requiere iluminación especial para el estudio de la anatomía microscópica. A esta dificultad se debe la adopción de la coloración cuyos principios generales y desarrollo histórico se especifican. Necesidad de la constancia en los resultados producidos por un colorante dado. Descripción e ilustración del descubrimiento accidental y propiedades selectivas de coloración del Negro E de Clorazol. Examen de los métodos de coloración doble y múltiple. Nota sobre el empleo de la técnica de la coloración en el estudio de la fisiología de las células.

En el Museo y Galería de Arte de Sheffield (Inglaterra) está expuesta una colección de interesantes diapositivas de animales marinos. No son, como podría suponerse pinturas o fotografías, sino los animales aplanados y montados en una resina transparente, llamada bálsamo del Canadá. El Dr. W. C. Sorby los preparó a mediados del siglo XIX. Algunos de los ejemplares de Sorby conservan su color natural con gran exactitud. Por ejemplo, una pequeña platija presenta toda la gama de su pigmentación natural, mientras que otros, como la *Aurelia*, la medusa común, han sido coloreados, y los tintes que empleó Sorby son muy interesantes. Usó el carmín, que es en la actualidad uno de los tintes standard en todas las clases elementales, pero además se apuntó notables éxitos con toda clase de extractos. Empleó jugos de ciruelo y arrándano, y uno de los tintes más satisfactorios fué el vino de Oporto.

El hombre de ciencia que no es biólogo, razonablemente se podrá preguntar por qué Sorby se tomó el trabajo de teñir sus ejemplares: podemos ver animales vivientes, y también, seguramente los podemos ver cuando están preservados. Esto no es estrictamente exacto, porque muchos animales son imposibles de ver vivos. De hecho, el protoplasma viviente en estado puro es incoloro y transparente. Esto puede ilustrarse de un modo sorprendente si se recogen, por ejemplo, en el Lago Windermere ejemplares de plankton flotante. En verano casi siempre se hallará presente la pulga de agua llamada *Leptodora*. Esta forma es relativamente enorme para una pulga de agua, ya que mide unos 12 mm de largo, y aun así únicamente puede verse en medio de los restantes organismos flotantes por el hecho de que al nadar, choca y desplaza de su camino a las otras pulgas más pequeñas. Es transparente como el cristal, con una mota de pigmento negro que es el ojo. Con objeto de apreciar su forma y tamaño debe procederse a encurtirla o «fijarla». El propósito de esta fijación es precipitar la materia coloidal viviente. Al fijar un *Leptodora* viviente, sea cualquiera el fijador empleado, el cuerpo cambia su transparencia cristalina en una opacidad blanca. De hecho, hemos convertido simplemente por el procedimiento de la fijación algo de una transparencia tan grande que con dificultad veíamos su aspecto externo, en otra cosa tan opaca que no podemos ver a su través, y es impossible, por tanto, estudiar su anatomía interna. Esta opacidad puede contrarrestarse expulsando el agua del ejemplar y reemplazándola por un alcohol, como el alcohol etílico, y luego por un aceite refractario en alto grado como el aceite de clavo o el xilol. El ejemplar, entonces, adquiere de nuevo su transparencia. En realidad, las únicas partes que se harán visibles son las pigmentadas, o con más exactitud, aquellas que conservaron su pigmentación original a través del drástico proceso de la deshidratación, porque durante la fijación y tratamientos subsiguientes muchas de las substancias de las células se desintegran o se disuelven.

Los ejemplares sin colorear montados, tal como acabamos de describirlos son permanentes. Pueden montarse en bálsamo del Canadá, y entonces no hay motivo para suponer que duren poco tiempo, punto muy importante en su favor. También es posible, si bien dificultoso, emplearlos sin nuevo tratamiento, para estudios anatómicos. Unicamente podrán hacerse invisibles las substancias, si, por una remota posibilidad, su índice de refracción es exactamente el mismo que el del medio en que van montadas. En todos los casos ordinarios, no obstante, hay una ligera diferencia entre los índices que, desde luego, es suficiente para que se pueda obtener una imagen con iluminación adecuada. Esta es, en realidad, toda la cuestión. La buena iluminación es esencial. Hay

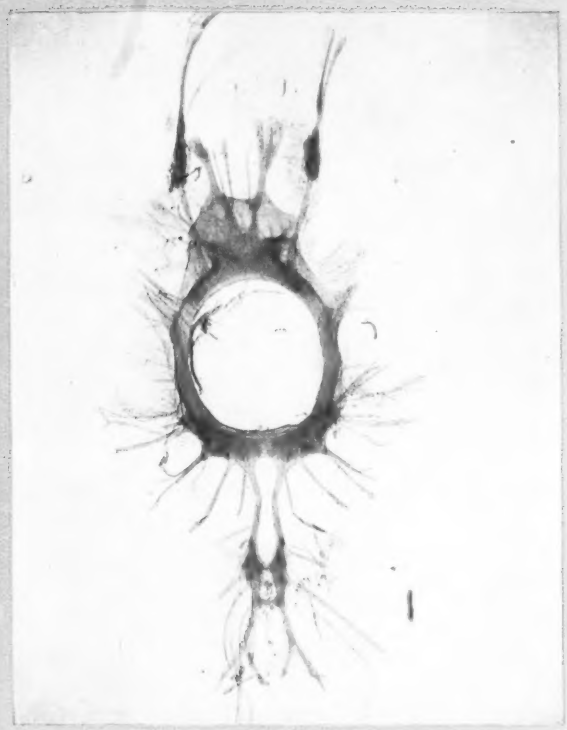


FIGURA 1 – *Tinte general. Sistema nervioso de un Ostracodo disecado, y teñido con Carmín de Bórax.*

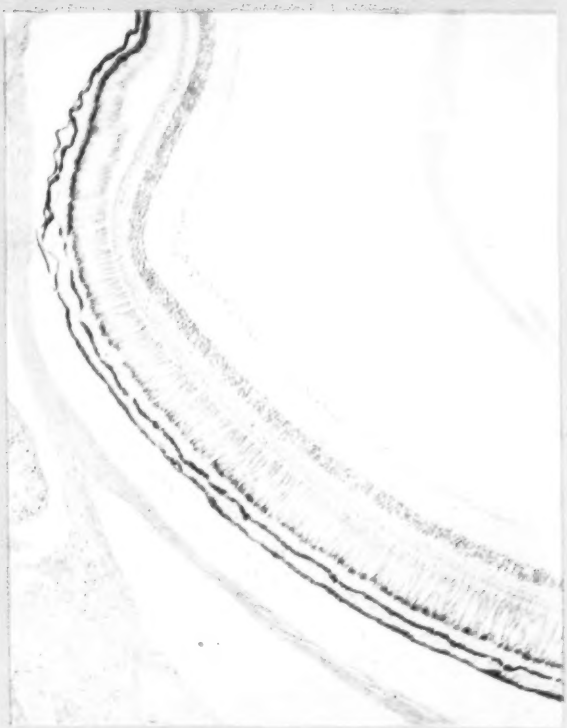


FIGURA 2 – *Coloración triple. Sección de la retina de un mamífero teñida con el colorante ortodoxo de Mallory. Cartílago y tejido conectivo se tiñen de azul; los glóbulos rojos de la sangre lo hacen de rojo, y de morado los núcleos de las células de la retina.*

FIGURA 3 – *Coloración triple. Sección de piel humana teñida con el tinte Van Gieson modificado. Este método demuestra que la capa externa, la estratocórnea, es químicamente doble, tiñiéndose la externa con ácido pícrico y la interna con fucsina. En el interior hay el estrato lúcido que se colorea también con ácido pícrico y luego el estrato granuloso, que es seleccionado por el hemalum.*

FIGURA 4 – *Sección de la piel de un ratón inyectado con Negro de Clorazol. Los histiocitos que absorbieron el colorante se presentan negros contra el resto de la sección en la que el citoplasma se tiñó de anaranjado y los núcleos de rojo.*

(Con autorización del Dr. J. R. Baker de Oxford.)

FIGURA 5 – *Impregnación de plata tratada a continuación con oro. Sección del cerebelo de un mamífero.*

FIGURA 6 – *Impregnación con cloruro de oro de las terminaciones de un nervio sobre un músculo esquelético.*

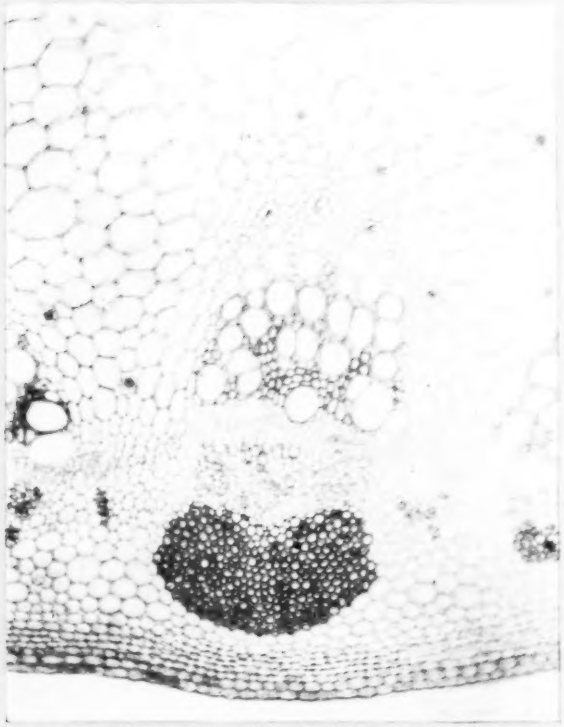


FIGURA 7 – *Coloración doble. Sección transversal del tallo de* Helianthus, *mostrando las células lignificadas teñidas de rosa con Rosa de Lignina y el resto de los tejidos de color negro con Negro de Clorazol.*

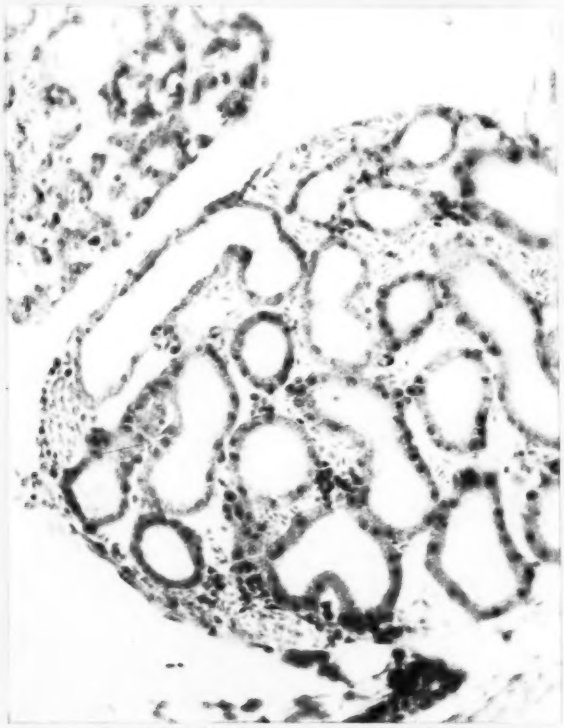


FIGURA 8 – *Coloración doble. Sección de riñón de renacuajo, mostrando las células rojas de la sangre teñidas de verde con Verde Victoria y el resto de los tejidos de púrpura con el Púrpura Hickson.*

FIGURA 9 – *Un solo colorante que produce efecto múltiple. Sección transversal de esparto teñida con Azurina de Clorazol.*

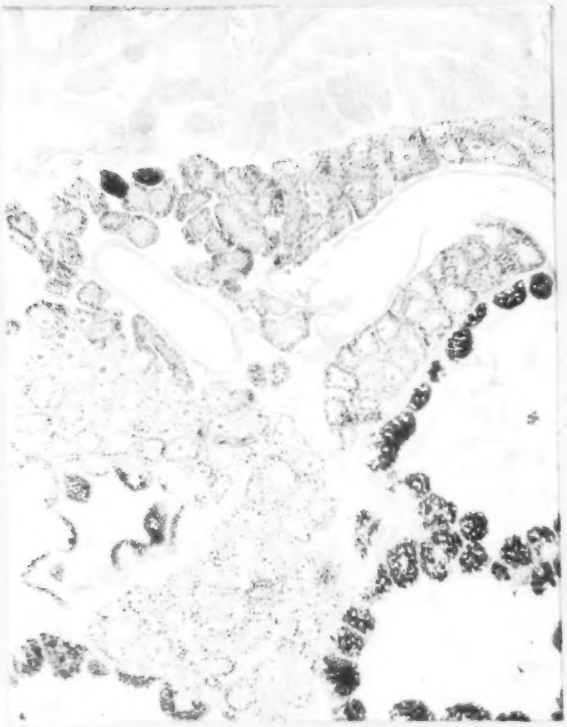


FIGURA 10 – *Efecto de color producido por fijación. Gotitas de grasa teñidas de negro por fijación con ácido ósmico y el resto de la sección con doble coloración de verde claro y rojo.*

(Con autorización del Profesor R. Dennell.)

FIGURA 11 – *Coloración general.* Penicillium *teñido con Negro de Clorazol.* *(Con autorización de Mr. F. D. Armitage.)*

FIGURA 12 – *Triple coloración. Sección gruesa de una lapa teñida según el método de Mallory, previa fijación en alcohol.*

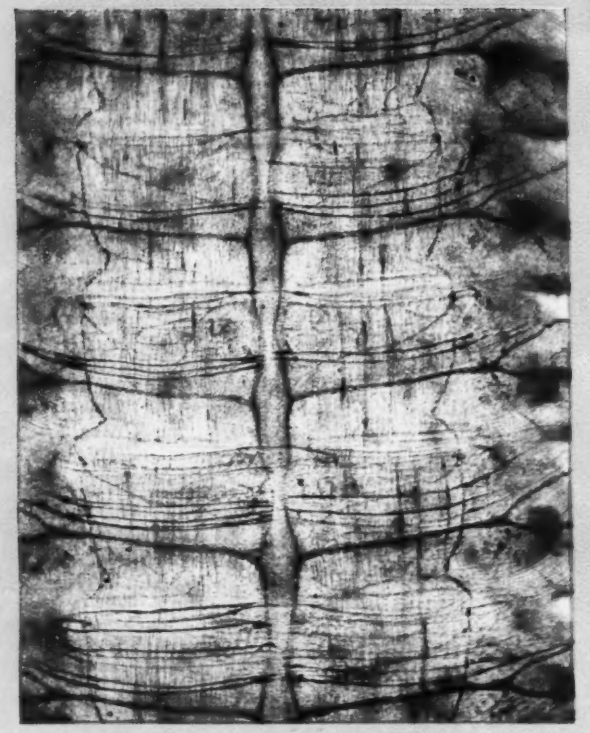


FIGURA 13 – *Coloración intra vitam con fijación subsiguiente. Cordón nervioso de un gusano marino fijado en azul de metileno «A», libre de cinc, de la Casa I.C.I.*

(Con permiso del Dr. J. E. Smith de Cambridge.)

FIGURA 14 – *Tinte de impregnación. Sección transversal de cerebro de mamífero impregnado por el método de Golgi.*

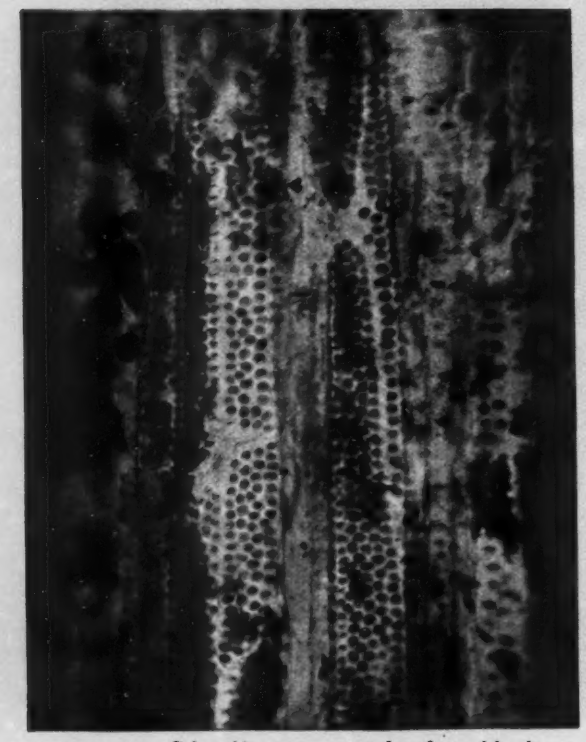


FIGURA 15 – *Coloración para mostrar los efectos del solvente. Sección longitudinal del tallo de* Helianthus *teñido con Negro de Clorazol disuelto en alcohol benzoico, mostrando los hoyos de las paredes de la célula teñidas de negro.*

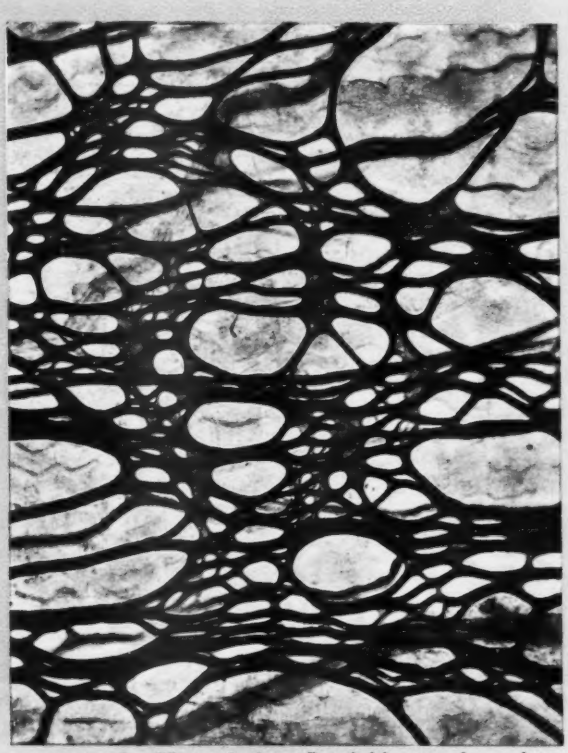


FIGURA 16 – *Tinte selectivo. Pared del cuerpo de una lapa, teñida durante poco tiempo con Negro de Clorazol disuelto en alcohol etílico, mostrando las fibras elásticas teñidas de negro purpúreo.*

algunos que han sostenido que toda la anatomía microscópica debe llevarse a cabo mediante fotografías de las preparaciones sin tintar, utilizando tal vez la luz ultravioleta. No cabe duda de que tal método ha rendido muy valiosos resultados. Para el micro-anatomista, sin embargo, un buen manantial de iluminación y un óptimo uso de condensadores y objetivos del microscopio es todo lo que le concierne. Después de todo, un micro-anatomista está acostumbrado a mirar muchísimas secciones — con frecuencia llegan a millares — y es evidente, que los métodos fotográficos tienen tan sólo un valor accesorio. Debe disponer de un método fácil y rápido de examinar las estructuras, y esto se consigue coloreando todo el ejemplar o sus secciones antes de montarlas en su medio definitivo. La medusa de Sorby, montada sin teñir, no podría ser reconocida, por esto la coloreó con vino de Oporto y estudió entonces con facilidad su anatomía. Exactamente del mismo modo, hoy, al empezar un estudio de la anatomía de algunos diminutos crustáceos, yo los corto en secciones muy delgadas, que, una vez teñidas, pueden ser vistas con facilidad a través del microscopio.

Yo estoy, con todo, interesado en los métodos empleados por el anatomista y quiero hacer hincapié en que la mayor parte de las coloraciones llevadas a cabo por los biólogos son empíricas. Poco importa al micro-anatomista el cómo y por qué del comportamiento de determinados colorantes en casos precisos, siempre y cuando le ayuden en sus estudios. Lo que le interesa es que el colorante produzca siempre el mismo efecto. En otras palabras, es la constancia más que la pureza lo que cuenta en un colorante. Después de la primera guerra mundial me encontré con un sorprendente caso de esta clase. Un científico alemán describió los resultados según los cuales la alizarina seleccionaba determinadas fibras nerviosas de la pulga de agua. Empleó una muestra de dicho colorante elaborado por Grübler y designado con el símbolo OO: yo tenía en mi poder una cantidad de este producto y comprobé el experimento, pero al tratar de hacerme con mayor cantidad del producto, me encontré con que ninguna alizarina británica producía el mismo resultado. En aquella época, si los fabricantes de productos químicos querían apoyo del gobierno, tenían que elaborar productos químicos lo más puros posible. Por otra parte, Grübler pensó que, mientras pudiera garantizar la producción del mismo colorante, poco le importaba al microscopista que de él se servía si el colorante era puro o no, con tal de que produjera siempre idéntico resultado. En este caso claramente tenía más valor la impureza que el principal producto químico.

De un modo parecido, el Negro de Clorazol E se descubrió accidentalmente. Derivaba de un trozo de terciopelo negro que estaba yo utilizando como fondo para la disección de un pequeño crustáceo. Muy gradualmente — de hecho transcurrieron tres semanas de disección intermitente — seleccionó estructuras esqueléticas particulares que yo trataba de ver en un ejemplar no coloreado, y los tiñó de un color verde oscuro. Herví entonces el trozo de terciopelo en una solución alcohólica y obtuve una solución negra que luego los químicos identificaron como Negro de Clorazol.

Posteriormente el estudio ha demostrado que el empleo del Negro de Clorazol ofrece grandes posibilidades. Ensayándolo en secciones vegetales, encontré enseguida que los tejidos lignificados se teñían de un rosa muy pálido. Después de las consultas pertinentes una casa de productos químicos elaboró un tinte rosa, que normalmente aparece como una impureza en el Negro de Clorazol y que ahora se conoce con el nombre de Rosa de Lignina.

Asimismo, Dobell en sus trabajos sobre la entameba demostró que los quistes de la ameba intestinal podían identificarse tiñiéndolos con Negro de Clorazol. Encontró que el núcleo y los cuerpos cromáticos se teñían de un negro bien definido, mientras que la pared del quiste lo hacía en gris verdoso y el glicógeno en rojo. Contamos, pues, entonces con un método empírico de identificación de los varios tipos de amebas que pueden presentarse en el conducto alimenticio humano, método que puede llevarse a cabo en una hora cuando se precisaba un día, por lo menos, empleando otro método.

Otra característica peculiar, pero valiosa, del Negro de Clorazol, es que sus propiedades tintóreas difieren según los distintos disolventes. Las formas planktónicas, como la pequeña medusa y los diminutos crustáceos se tiñen de color diferente cuando el tinte se ha disuelto en alcohol etílico o cuando se disolvió en alcohol benzoico. Más interesante, con todo, es el efecto sobre tejidos vegetales. El Negro de Clorazol en alcohol etílico ordinario tiñe las paredes de la célula de color negro y las demás estructuras de otros colores desde amarillo a través de gris verdoso hasta el negro. En alcohol benzoico tiñe selectivamente los hoyos de las paredes de la célula. En una sección longitudinal del tallo de la alcachofa

Helianthus la pared del vaso criboso aparece como una lámina moteada en gris oscuro sobre un fondo incoloro (figura 15). Es difícil de concebir una explicación de esta diferencia, pero, no obstante, es un método muy valioso de investigación de la estructura de las plantas. Como método corriente se usó en el estudio de la microestructura de la madera por Leighton Hare en Kew (Inglaterra) quien, de ordinario, monta tres secciones teñidas en solución acuosa de Negro de Clorazol, solución de alcohol etílico y alcohol benzoico respectivamente.

Las preparaciones escogidas para ilustrar este artículo se tomaron de los tipos ordinarios corrientes del método empleado por el microanatomista. La primera (figura 1) representa una coloración general, y muestra el sistema nervioso de un crustáceo disecado y que se tiñó con el más común de los colorantes, el carmín de bórax. Para una coloración general no basta que el tinte afecte por igual todas las partes, como, por ejemplo, en el caso de la eosina, sino que es esencial que mientras quedan teñidas todas las partes de los tejidos, el núcleo debe serlo más intensamente que las partes restantes. Usando el carmín de bórax, esto se consigue tiñiendo con exceso y lavando luego el exceso de colorante mediante alcohol ácido, proceso que se ha llamado diferenciación. De este modo se obtiene generalmente una preparación rosa en que el agrupamiento de los núcleos puede verse fácilmente por lo mismo que quedan tintados de un carmín oscuro. La figura 11 muestra un caso más sencillo en el que el Negro de Clorazol disuelto en alcohol metílico se ha empleado como colorante general para el moho del *Penicillium*. Aquí no es necesaria una coloración excesiva, cosa por otra parte difícil de realizar; el tinte colorea simplemente los núcleos con más facilidad que el citoplasma, por lo que se evita el proceso de la diferenciación.

Se deduce de los dos casos que he ilustrado, que es posible, por diferenciación en el caso del carmín de bórax, y por coloración deficiente en el del Negro de Clorazol, teñir únicamente los núcleos dejando sin tintar el resto del tejido. Esto conduce naturalmente a aquellos casos en los que el colorante selecciona un tejido particular dejando incoloros los restantes. La figura 16 proporciona un ejemplo excelente de la acción selectiva de un tinte y muestra los tejidos elásticos de la pared del cuerpo del gasterópodo *Lepas* teñido con Negro de Clorazol. En este caso particular el ejemplar permaneció poco tiempo en el baño tintóreo — unos minutos solamente — y las fibras elásticas casi al instante se tiñieron de negro antes que los tejidos restantes acusaran coloración apreciable. Con muchos colorantes específicos, no obstante, el tinte afecta solamente un tejido particular o un tipo de inclusión celular, de manera que es de poca importancia el tiempo que la sección permanece en el colorante. Así se dice que el mucicarmín es específico para las células mucosas y la orceína para las fibras elásticas.

Una vez que se hubo establecido la idea del colorante específico, resultó clara la posibilidad de obtener valiosos resultados con la doble coloración. El Rosa de Lignina ya mencionado es específico para las células lignificadas, por lo tanto al añadirlo al Negro de Clorazol se obtiene una solución particular que, mientras tiñe de negro los núcleos y las paredes de la célula, tiñe de un carmín definido (figura 7) los tejidos leñosos. El valor de esta solución está en que no supercolorea y por tanto no precisa diferenciación. Un resultado más difícil pero aún más sorprendente se ve en la figura 8. Se trata de una sección del riñón de un renacuajo. Ante todo se tiñó con el Rojo Púrpura de Hickson, que produce un efecto azulado en todas las células. Al teñir luego con Verde Victoria se seleccionan los corpúsculos rojos de la sangre, y únicamente éstos, tiñiéndose de un verde definido.

Una de las coloraciones dobles más simples, empleadas en los laboratorios médicos, es la de la hematoxilina y eosina. En este caso sólo los núcleos se tiñen de un púrpura azulado con la hematoxilina, y con la eosina se colorea de rojo el citoplasma de las células.

La doble coloración conduce naturalmente al método de coloración triple y aún a otros más complicados. Las figuras 2 y 3 ilustran los efectos múltiples producidos por varios de los métodos harto conocidos. Debe observarse, no obstante, que las prescripciones complicadas llamadas a producir efectos múltiples, frecuentemente resultan complicadas en exceso. En un caso que me ocurrió durante mis trabajos, un zoólogo se cansó de seguir el elaborado ritual de la triple coloración de Mallory que aparece en la figura 12 y mezcló las tres soluciones. Obtuvo un efecto muy satisfactorio.

Algunas veces, al emplear una simple solución, se produce variedad de colores. El Negro de Clorazol en alcohol etílico, por ejemplo, tiñe de gris verdoso el exoesqueleto del miembro de un crustáceo y en cambio los músculos toman un matiz que tira a moreno. Un interesante efecto de esta metacromacia, como se la llama, lo

tenemos en la figura 9. Es una sección de esparto (incidentalmente sacado de un herbario en donde permaneció durante muchos años) teñida con Azurina de Clorazol; muestra el doble efecto de un rojo azul vívido.

Muy al principio de la historia de la técnica de la coloración, se emplearon métodos mediante los cuales se intentaba impregnar determinados tejidos, especialmente material nervioso. Muy pronto se comprobó que las fibras y células nerviosas absorben las soluciones de oro y plata que por sucesivo tratamiento, algo parecido al revelado fotográfico, pueden convertirse en un material oscuro, haciéndose visibles por contraste con los tejidos incoloros que lo envuelven (figura 5). Otro ejemplo lo tenemos en la figura 6 que muestra las terminaciones del nervio en un músculo estriado de un vertebrado. Un resultado más notable lo vemos en la preparación de Golgi que aparece en la figura 14, en la que células nerviosas aisladas sobresalen de un fondo intensamente negro. Si bien estos métodos de impregnación son muy valiosos e interesantes, debe tenerse en cuenta que son caprichosos; no puede predecirse cuáles de las células, de haber alguna, en un bloque de tejido van a producir resultado y cuáles quedarán inafectadas por el tratamiento.

El desarrollo de los métodos *intra vitam* por los cuales las células vivientes absorben el tinte, ha dado un paso enorme en los últimos años. Así el rojo neutro y el azul de metileno pueden emplearse para seleccionar células determinadas o partes de las mismas en los tejidos vivientes. Originariamente la dificultad estribaba en la fijación de las células después de teñidas. En la actualidad se han ideado métodos mediante los cuales esto puede realizarse, y la figura 13 muestra un resultado magnífico obtenido tiñiendo el cordón nervioso de un gusano marino con azul de metileno y fijando a continuación el colorante. Las fibras nerviosas aisladas se tiñen de un azul definido.

La tendencia moderna de investigación sobre los tintes, es usar dicho método como un medio de análisis de la fisiología de la célula más que de su anatomía. Esto se aparta del propósito de este corto artículo, pero hay un caso más que debo mencionar porque es funcional y anatómico. Baker, de Oxford, demostró que inyectando Negro de Clorazol en el cuerpo de una rata, ciertas células debajo de la superficie de la piel, llamadas histiocitos o macrófagos, seleccionaban el colorante y se envolvían con él de modo que aparecían negros en las secciones (figura 4). Con esto entonces, no sólo distinguió los histiocitos anatómicamente, sino que demostró su comportamiento fagocitario.

Oliver Heaviside (1850-1925)

Este año se celebra el centenario del nacimiento de Oliver Heaviside — Londres, 1850 — y es de justicia dedicar unas líneas a la memoria de quien tan importantes avances realizó en el estudio de la electricidad. Heaviside fué el primero en concebir un circuito sin distorsión que, por medio del adecuado ajuste de la resistencia, inductancia, capacitancia y pérdidas, mantuviese una forma determinada de señales que, aunque atenuadas, conservasen al propagarse por un cable su inteligibilidad.

Su mayor contribución a la ciencia eléctrica apareció en una serie de artículos publicados en *The Electrician* en los que desarrolló su teoría de la propagación ondular. Entre los más importantes resultados por él obtenidos se encuentra la predicción de la existencia de una capa ionizada, «capa de Heaviside» en las altas regiones atmosféricas, lo que tenía importantes consecuencias para la propagación de ondas electromagnéticas alrededor de la tierra.

El cálculo operacional de Heaviside es la base de la teoría moderna de los circuitos eléctricos.

Heaviside no recibió durante su infancia y adolescencia una educación sistemática. No se casó nunca, residiendo con sus padres en Devonshire desde 1889 hasta la muerte de éstos. Más tarde vivió en completo aislamiento en diversas localidades de la misma región. No fué, sin embargo, un genio ignorado; siendo nombrado miembro de la Royal Society a la edad de 41 años.

Interferometría de haz múltiple

S. TOLANSKY

Descripción de las aplicaciones de los métodos interferométricos de haz múltiple, incluyendo el examen del acabado superficial, el proceso de los ensayos de dureza por ranuras microscópicas y la formación de bandas de deslizamiento en cristales metálicos sometidos a esfuerzos. Aplicación de la técnica al examen del crecimiento de los cristales de minerales duros, estudio de la diferencia de dureza direccional que ofrece el diamante en los ensayos al desgaste y la forma de vibración de los cristales de cuarzo excitados eléctricamente. Producción de un nuevo tipo de sistema de franjas definidas y la aplicación de una técnica para revelar los resaltos, las inclusiones y las fallas de la mica.

Las distintas técnicas empleadas en la interferometría de haz múltiple han quedado ya establecidas como métodos para la investigación de la microtopografía [1] y los microdesplazamientos de las superficies [2]. En tales investigaciones es necesario preparar primeramente las superficies a examinar de manera que tengan un elevado poder de reflexión óptica; entonces se contrastan con un patrón óptico plano plateado. Si las condiciones ópticas son correctas, entonces como consecuencia de las múltiples reflexiones de los haces entre las superficies se forman unas líneas de interferencia muy bien definidas. Dichas líneas son, en efecto, microlíneas de nivel y con una técnica apropiada es posible medir variaciones de altura del orden de una milésima de onda luminosa, o sea unos 5 Å. Esta magnitud es menor que muchos de los interespacios de las estructuras cristalinas y de hecho, tales espacios han sido medidos valiéndose de ondas de luz ordinaria.

METALES

Cuando una superficie posee un acabado y pulido elevados, se obtienen unas bandas rectilíneas definidas, e inversamente las desviaciones de tal línea recta sirven de medida de la tosquedad de las superficies. Los acabados de delicada solapadura son cada día más importantes para la tecnología de precisión y en este campo la técnica de haces múltiples puede prestar gran auxilio como medio de examen de las superficies. La figura 1 muestra las bandas producidas por una superficie típica de acero inoxidable bien pulimentada. Las irregularidades superficiales son evidentes si se recuerda que pasando de una banda a su vecina la altura ha cambiado en media longitud de onda o sea $2{,}5 \cdot 10^{-5}$ cm.

La figura 2 muestra las bandas producidas por una superficie de acero inoxidable bien pulimentada con un acabado super-micro. En contraste con ello la figura 3 muestra la naturaleza irregular del aluminio pulimentado, que siendo mucho más blando se rae más fácilmente. La figura 4 indica los contornos producidos por una plancha de acero laminado (metal base para hojalata) en donde se revelan claramente las fibras de laminación [3].

Un método muy corriente para medir la dureza de los metales consiste en hacer una entalla con una pirámide de diamante bajo una fuerza determinada y medir entonces las dimensiones superficiales de la ranura (ensayo de dureza Vickers). Tales ensayos se llevan a cabo actualmente en una escala microscópica, empleando diminutas ranuras — frecuentemente de menos de 10 micrones de anchura. Es evidente que al penetrar el diamante, la superficie colindante debe casi seguramente distorsionarse y los efectos de tal distorsión se han estudiado por medio de la interferometría [4]. La figura 5 muestra las bandas que revelan la magnífica distorsión superficial simétrica producida por tal entalla microscópica grabada sobre una superficie de acero pulimentado, lo que explica el proceso de penetración. La figura 6 muestra lo que sucede al incrementarse la presión. Se puede observar que las acumulaciones metálicas se hacinan en ambos lados de la ranura cuadrada pero no se produce mucha distorsión en la dirección de las diagonales.

Cuando la ranura se practica en un monocristal de estaño [5], se obtiene la muestra asimétrica indicada en la figura 7. Las regiones protuberantes extremas son prueba de apiladas colinas y las regiones reducidas corresponden a hondonadas de los valles. Se ha establecido que el efecto es puramente cristalográfico y está directamente relacionado con la dirección de los ejes cristalinos.

El trabajo sobre las bandas de deslizamiento [6] es muy prometedor. Al tensionarse los metales cristalinos las conocidas bandas de deslizamiento

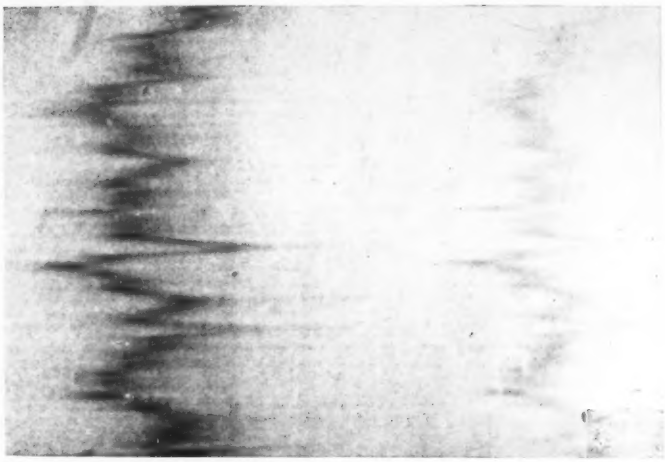


FIGURA 1 – *Franjas obtenidas estudiando una muestra de acero inoxidable bien pulimentado por medio de la interferometría de haz múltiple.* (× 300)

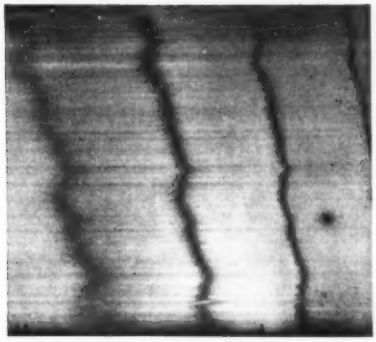


FIGURA 2 – *Franjas producidas por acero inoxidable con un acabado super-micro.* (× 120)

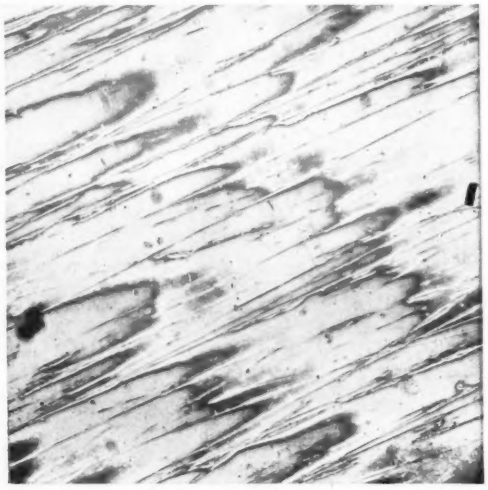


FIGURA 4 – *Franjas de plancha de acero laminada.* (× 360)

FIGURA 3 – *Contornos relativamente toscos para el aluminio pulimentado el cual siendo relativamente blando se rae fácilmente.* (× 720)

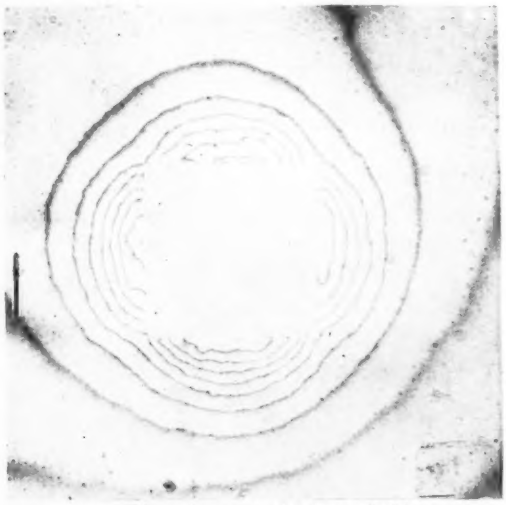


FIGURA 5 – *Distorsiones superficiales producidas en el ensayo de dureza a escala microscópica, reveladas por interferometría.* (× 120)

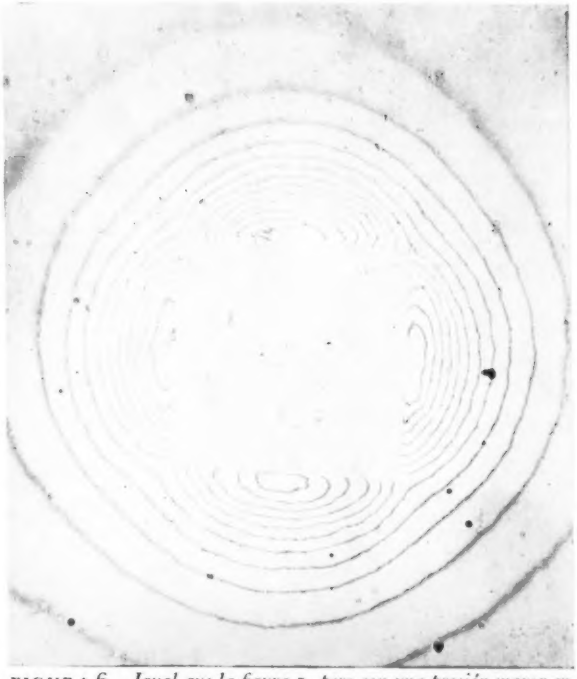


FIGURA 6 – *Igual que la figura 5, pero con una presión mayor en la punta de diamante de la máquina de ensayo.* (× 120)

FIGURA 7 – *Contornos asimétricos producidos cuando el ensayo de dureza se realiza con un monocristal de estaño.* (× 120)

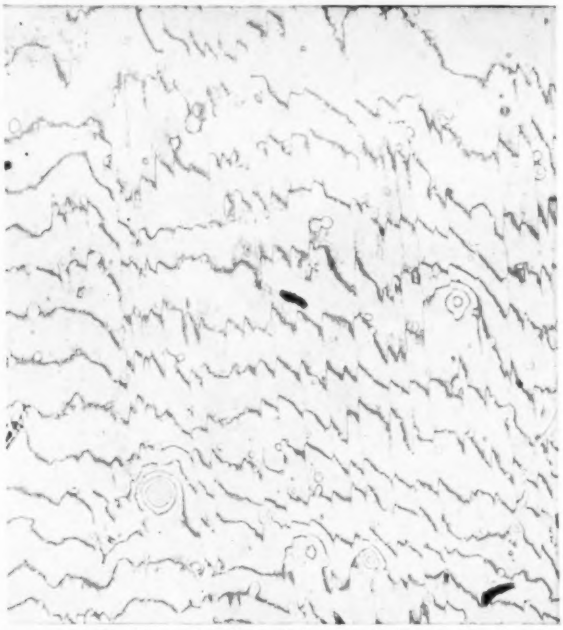


FIGURA 8 – *Líneas interferométricas producidas por las bandas de deslizamiento sometiendo a tensión un monocristal de aluminio.* (× 250)

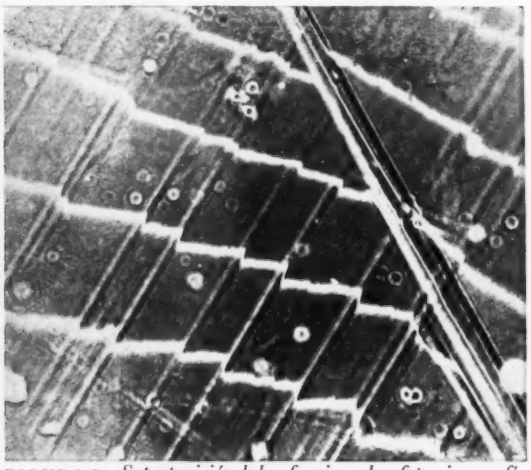


FIGURA 9 – *Superposición de las franjas sobre fotomicrografía de las líneas de deslizamiento en un monocristal de estaño.* (× 250)

FIGURA 10 – *Líneas de contorno mostrando las láminas de crecimiento en un cristal de berilio.* (× 50)

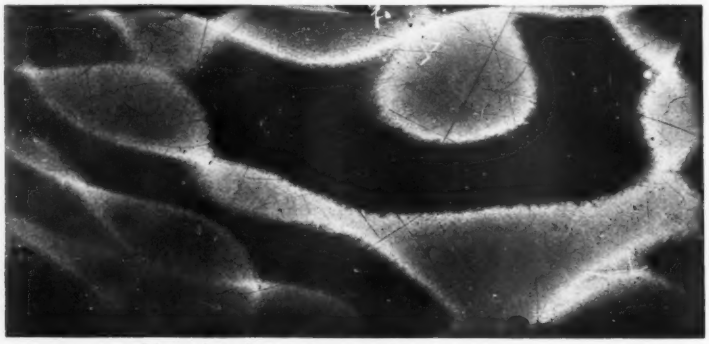


FIGURA 11 – *Líneas interferométricas obtenidas con un cristal de cuarzo que vibra a alta frecuencia, mostrando nodos y antinodos.* (× 10)

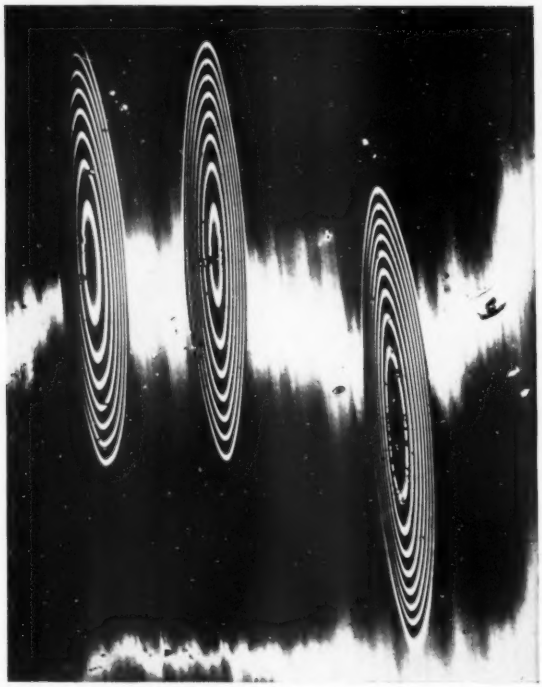


FIGURA 12 – *Franjas producidas por la erosión microscópica ocasionada con una pequeña rueda giratoria recubierta de diamante pulverizado.* (× 120)

FIGURA 13 – *Franjas producidas por una superficie de diamante especialmente preparada. Su alta definición indica un pulimento excepcional.* (× 25)

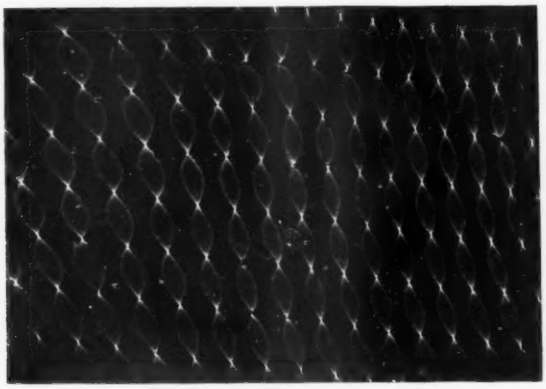


FIGURA 14 – *Franjas obtenidas con un cristal de cuarzo en vibración.* (× 10)

FIGURA 15 – *Los planos del diamante son de compleja estructura, pero en el ejemplo aquí ilustrado las franjas muestran un plano de hendimiento excepcionalmente nítido.* (× 120)

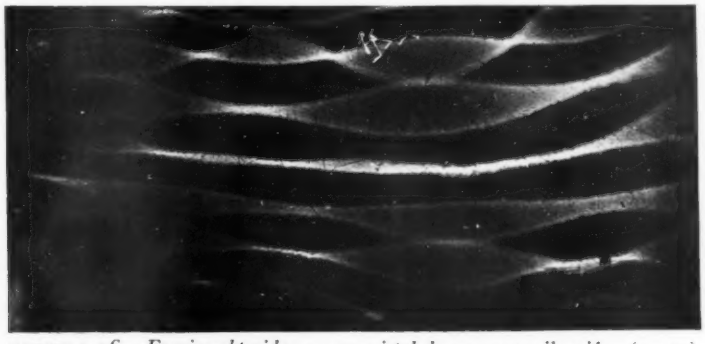


FIGURA 16 – *Franjas obtenidas con un cristal de cuarzo en vibración.* (× 10)

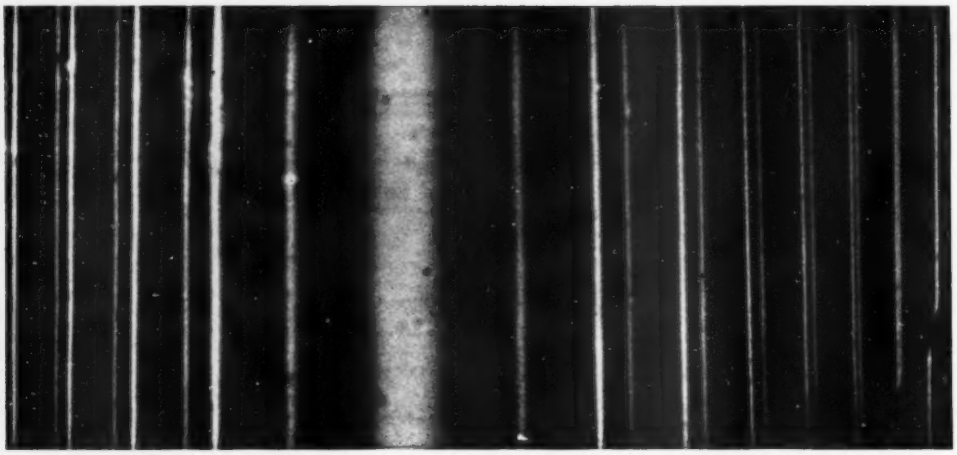


FIGURA 17 – *Franjas producidas según un nuevo sistema de las mismas, por medio de una pieza de mica paralela plana plateada en ambas caras y muy curvada.* (× 10)

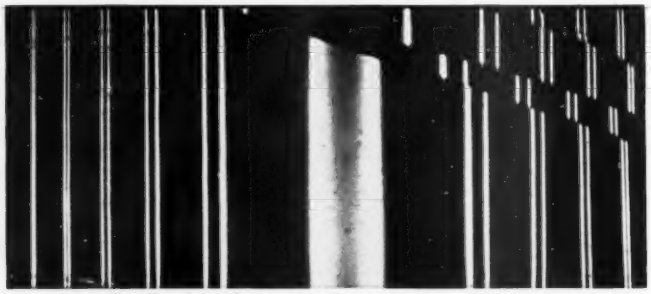


FIGURA 18 – *Igual que la anterior ilustración pero con una placa de mica con escalones de hendimiento.* (× 10)

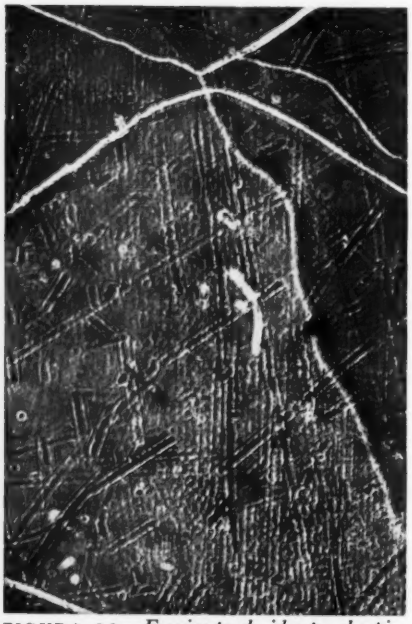


FIGURA 19 – *Franjas producidas por dos piezas plateadas de mica, aproximadamente paralelas. Ligeras variaciones en el grueso de la mica, de una altura de sólo una capa molecular, producen brillantes coloraciones.* (× 10)

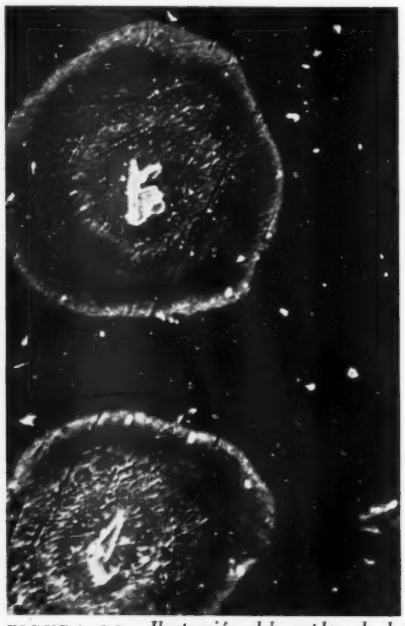


FIGURA 20 – *Ilustración del empleo de la interferometría para revelar inclusiones en la mica, invisibles normalmente.* (× 25)

aparecen como una sucesión de finas líneas paralelas cercanas, y es evidente que examinando por interferometría una superficie metálica que haya sido previamente pulimentada y sometida después a un ligero esfuerzo, es posible conseguir información relativa a la naturaleza del deslizamiento. En la figura 8 aparecen las franjas que corren a través de las bandas de deslizamiento producidas en los monocristales de aluminio al aplicarle una ligera tensión. La figura 9 representa una composición de franjas superimpuestas en una micrografía ordinaria de las bandas de deslizamiento producidas en un monocristal de estaño.

SUPERFICIES CRISTALINAS

Con el berilio se ha conseguido recientemente valiosa información sobre el mecanismo del crecimiento de los cristales [7], en el cual se han observado contornos de interferencia muy complejos. Un típico ejemplo (que mencionamos sin explicación, por falta de espacio) se indica en la figura 10.

Están llevándose a cabo intensos estudios sobre diamantes y entre ellos, sobre las peculiaridades de su desarrollo natural, direcciones diferenciales de pulido y contornos de las caras de falla. En particular, se está examinando la dureza direccional por medio del análisis interferométrico de un ensayo de desgaste recientemente sugerido [8]. En esta prueba se dispone una pequeña rueda cortante de acero, giratoria, impregnada de diamante en polvo, que se aplica por un tiempo determinado sobre la superficie según una fuerza y velocidad prefijadas, con lo que se obtiene un somero corte microscópico. Si es posible medir el volumen de tal hendidura, ello constituye la medida de la resistencia al desgaste y al pulido. La interferometría de precisión es el único método satisfactorio por el cual pueden determinarse tales volúmenes. La figura 12 muestra las bandas producidas por un número de tales cortes microscópicos [9] (aumento × 120). No solamente pueden determinarse así las formas y los volúmenes sino que la definición de las franjas dentro de los cortes indica que la superficie erosionada puede someterse a un elevado pulido.

El acabado final obtenible en un diamante pulido es extraordinariamente elevado como ha demostrado la observación interferométrica. La figura 13 indica el pulido más perfecto obtenido y la agudeza de las franjas indica que se ha conseguido una excelente superficie óptica. Esto puede lograrse solamente por un repetido uso de las franjas como indicación del progreso en la técnica del pulido. Estudios con altos aumentos revelan una estructura granular, lo cual prueba que no ha habido ningún corrimiento durante el pulido.

Un examen interferométrico muestra que las grietas en los diamantes son generalmente muy complejas pero un ejemplar excepcional proporcionó las bandas indicadas en la figura 15.

CRISTALES OSCILATORIOS

Recientemente [10] se han conseguido algunos resultados espectaculares aplicando la interferometría de haz múltiple al estudio de las oscilaciones mecánicas de cristales de cuarzo excitados eléctricamente. En tales experimentos, se forman definidas bandas de interferencia entre la superficie del cristal de cuarzo pulido y una superficie óptica plana. Al poner el cristal en oscilación por medio de un circuito eléctrico adecuado, algunas partes de la superficie permanecen en reposo (nodos) mientras que otras partes están en vibración. Una vibración de una amplitud incluso de una pequeña fracción de onda luminosa produce un cambio mensurable en la separación entre el cristal y el plano. Como resultado de ello en las regiones en movimiento las bandas se ensanchan y así la completa distribución de las vibraciones superficiales queda claramente revelada (figuras 11, 14, 16).

Se ha comprobado que algunos nodos son regiones donde el cristal está en reposo, ciertamente dentro de menos de 50 Å. Se ha desarrollado también una técnica estroboscópica en la cual una fracción del voltaje de oscilación del cristal se aplica para poder excitar la fuente luminosa productora de las bandas de interferencia. Puesto que la fuente luminosa y el cristal vibran con la misma frecuencia resulta una imagen «congelada» de las bandas con la superficie aparentemente en reposo. Por este medio no sólo se pueden medir los nodos, antinodos y amplitudes, sino que también se revelan las fases instantáneas y direcciones de movimientos diferenciales sobre todo el cristal. Las franjas no se ensanchan sino que se arrollan y tuercen alrededor de las regiones que están instantáneamente al mismo nivel.

Los cristales oscilatorios de cuarzo poseen una considerable importancia. Se emplean para el control de precisión de las ondas de radio y radar, para relojes astronómicos de alta precisión, para la producción de ondas supersónicas, etc. A pesar de su amplio uso, el mecanismo de la vibración

está lejos todavía de ser bien conocido, y estos experimentos de interferencia, que revelan las vibraciones en vívida forma habrán de ayudar a clarificar el complejo comportamiento de los diferentes cortes cristalográficos de los cristales oscilatorios de cuarzo.

NUEVA TECNICA INTERFEROMETRICA

Se ha desarrollado un nuevo tipo de franjas [11], y por más que su interés es puramente teórico podrán quizás más tarde desarrollarse sus aplicaciones.

El sistema se produce de la manera siguiente: Una lámina delgada plana de material flexible (por ejemplo, mica) se platea por ambos lados y entonces se curva formando un cilindro de unos 5 cm de radio. Iluminando éste con luz paralela monocromática, aparece entonces un sistema de franjas de alta definición, localizadas en un plano que pasa a través del centro de curvatura y perpendicular a la dirección de incidencia. Estas franjas han sido estudiadas, así como sus propiedades.

Un ejemplo de tales franjas está indicado en la figura 17. Son muy pronunciadas, dobles y con ambas componentes polarizadas según planos mútuamente perpendiculares, debido a las propiedades bi-refringentes de la mica, la cual de hecho produce varios efectos interesantes y muy complejos, todos los cuales pueden explicarse teóricamente. Si la mica posee cualquier escalón de hendimiento, éste aparece en la muestra de las franjas, como en la figura 18, y dicha observación sugiere una posible aplicación, aparte del interés óptico intrínseco del sistema. Es muy fácil colocar películas delgadas y capas sobre una lámina de mica o cualquier otro material flexible adecuado, el cual al ser curvado proporciona el equivalente aumento de espesor representando el grueso de la película. El interés del procedimiento descansa en la elevada dispersión de las franjas y la buena definición obtenible por este medio óptico tan simple y económico.

Una nueva aplicación de una antigua técnica [12] ha sido la adaptación del familiar principio de la superposición, tal como se aplica a las franjas de haz múltiple de igual espesor (introducido hace muchos años por Fabry). Este experimento es un método por el cual las ligeras y normalmente invisibles inclusiones en la mica o los pequeños escalones de hendimiento pueden evidenciarse claramente y con precisión por medio de un simple dispositivo. Una pieza de mica después de plateada se corta en dos partes, que se mantienen juntas, aproximadamente paralelas. Entonces se iluminan con una luz blanca paralela, lo que da por resultado unos bellos efectos de colores. Si la mica era de espesor perfectamente constante sólo aparece un tinte uniforme pero se sabe que las placas de mica poseen ligeras discontinuidades en su grueso, que son pequeños escalones de hendimiento de espesor variable que a veces son iguales a sólo la altura de una capa molecular (20 Å). Debido al principio de superposición, incluso si la mica es relativamente gruesa, se obtiene un efecto de interferencia sobre una diferencia de trayectoria representada por el pequeño desnivel, y así las áreas de resquebradura producen regiones coloreadas de tono uniforme. De hecho se obtienen franjas blancas de elevada sensitividad, incluso empleando películas gruesas. La figura 19 (en monocromo) da una mala idea de los contrastes que aparecen, ya que las coloraciones obtenidas son espléndidas.

Es igualmente interesante la sensitividad del sistema para evidenciar «invisibles» inclusiones en la mica. La figura 20 es un ejemplo que en monocromo resulta muy deficiente. En ella se revela una pequeña inclusión y en el centro puede verse un diminuto cristal extraño con una región circundante característica, siendo el contraste debido a los cambios del índice de refracción del material.

BIBLIOGRAFIA

[1] TOLANSKY, S. «*Multiple-beam Interferometry of Surfaces and Films*». Clarendon Press, Oxford. 1948.

[2] TOLANSKY, S., y BARDSLEY, W. *Nature*, **161**, 925, 1948.

[3] TOLANSKY, S. *Metal Treatment*, **61**, No. 60, 195, 1950.

[4] TOLANSKY, S., y NICKOLS, D. G. *Nature*, **164**, 103, 1949.

[5] *Idem. Ibid.*, **164**, 840, 1949.

[6] TOLANSKY, S., y HOLDEN, J. *Ibid.*, **164**, 754, 1949.

[7] GRIFFIN, L. J. Datos todavía no publicados.

[8] GRODZINSKI, P., y STERN, W. *Nature*, **164**, 193, 1949.

[9] TOLANSKY, S., y AUSTIN, E. *Ibid.*, **164**, 194, 1949.

[10] TOLANSKY, S., y BARDSLEY. W. *Ibid.*, **161**, 925, 1948.

[11] TOLANSKY, S., y BARAKAT, N. *Ibid.*, **162**, 816, 1948.

[12] TOLANSKY, S. *Ibid.*, **163**, 637, 1949.

Progresos recientes en las lámparas de descarga de gases raros

J. N. ALDINGTON

Se describe brevemente el tubo Moore, primer tubo de descarga relleno de gas que constituyó una fuente de luz satisfactoria. Se detallan los trabajos más recientes sobre descargas de corriente de alta intensidad a través de gases raros, conducentes al desarrollo de los tubos rellenos de xenón y criptón que proporcionan una fuente intermitente de luz blanca de alto rendimiento y 200-450 μs de duración. Nuevos progresos culminaron en la lámpara de arco de gas descrita con mayor detalle. Esta lámpara de descarga con emisión luminosa continua, con tubo de cuarzo enfriado por agua y electrodos de tungsteno, posee un brillo de 5000 bujías/cm² a 5 kW y un rendimiento de 30 l/W, dando su máxima emisión al ser conectada.

INTRODUCCION

Las radiaciones luminosas y de otras clases producidas por la descarga eléctrica a través de aire rarificado o de otros gases han sido objeto de estudio durante muchos años. Los tubos de descarga empleados para ello eran generalmente de vidrio y contenían el gas a examinar bajo una presión relativamente reducida. La corriente de la descarga era generalmente sólo del orden de unos miliamperios.

Con la notable excepción del tubo Moore, introducido en su forma comercial en 1904, estos primitivos dispositivos rellenos de gas tenían escaso valor para los fines generales de iluminación. En vista de su importancia con relación a desarrollos posteriores vale la pena considerar detalladamente el tubo Moore. Este consistía, comunmente, en un tubo de vidrio de una longitud de unos 66 m trabajado en el lugar de emplazamiento. Los mejores resultados parecen haber sido logrados con un tubo de 44 mm de diámetro; el color y rendimiento luminoso dependían del gas en el tubo. En algunos de ellos se empleaba el nitrógeno que daba una agradable luz dorada, en otros el anhídrido carbónico que daba una luz blanca semejante a la del cielo meridional.

Sin embargo, se encontró que sólo el neón constituía una fuente luminosa comercialmente útil, y debido principalmente a los trabajos de Claude, el tubo neón para anuncios y fines decorativos pasó a ser el primer tubo de descarga de gases raros. Fué primeramente exhibido en 1907 y ocupó la vanguardia entre toda la serie de tubos de descarga de alta tensión de cátodo frío que producen una variedad de colores; la descarga básica depende en la mayoría de los casos de la mezcla ya de neón, ya de neón/argón y vapor de mercurio.

Más tarde se introdujeron los revestimientos fluorescentes del interior de los tubos de descarga de alta tensión y la serie de colores posibles fué incrementada considerablemente. Estas lámparas condujeron a su vez a los tubos fluorescentes de voltaje ordinario, los cuales están adquiriendo gran importancia para fines de iluminación general. Entretanto el trabajo sobre simple descarga a través de gases raros se ciñó en gran parte a investigaciones fundamentales o bien para la producción de ciertos tipos especializados de lámparas de laboratorio.

A finales de la década de 1930, el autor y sus colegas empezaron una serie de investigaciones que incorporaban el paso de elevadas corrientes de descarga a través de gases raros. En 1939 se habían obtenido ya datos preliminares respecto de descargas de elevada intensidad a través de tubos de vidrio de borosilicato de unos 3 cm de diámetro, conteniendo neón, argón y helio a presiones relativamente bajas.

Se observó que el espectro de radiación era parecido al obtenido en los tubos Claude, que en general operaban con una corriente de sólo 25–50 mA. El rendimiento luminoso era, no obstante, muy bajo debido a que, a pesar de usar electrodos de emisión de pérdida reducida, la caída de tensión en las lámparas experimentales era solamente del orden de unos 30 V, con la longitud del arco limitada a unos 20 cm. Se consideró que las distintas condiciones de presión y corriente que deberían investigarse requerían otro tipo de tubo y probablemente nuevos

circuitos, si es que querían estudiarse, aunque sólo fuera en forma preliminar, las posibilidades más aparentes. El objetivo consistía en producir una lámpara de descarga gaseosa concentrada y de alto rendimiento.

TRABAJOS SOBRE DESCARGA CON CONDENSADORES

A pesar del poco éxito de los primeros intentos para producir una fuente luminosa de elevado rendimiento empleando gases raros, se creyó que era posible producir una fuente concentrada siempre que pudiera descargarse una suficiente cantidad de energía a través del gas. La técnica de la descarga del condensador, por ejemplo, había sido empleada con éxito desde hacia muchos años para producir chispas de corta duración en el aire.

El método aplicado a la lámpara consistía en cargar un condensador a una alta tensión y entonces hacer que la lámpara, que estaba conectada permanentemente a los bornes del condensador, se ionizara por medio de una descarga de alta tensión y elevada frecuencia en las paredes. Al cabo de unos pocos microsegundos la energía del condensador podía descargarse a través de la lámpara.

En los trabajos experimentales iniciales en los laboratorios del autor[1], los tubos de vidrio de borosilicato de diferentes diámetros y longitudes estaban rellenos de argón a unos pocos mm y vapor de mercurio a baja presión.

El objetivo durante tal período consistió en producir descargas de elevada densidad de corriente a través del vapor de mercurio a baja presión, pero un examen espectroscópico de la radiación reveló que muy poco era el vapor de mercurio allí presente y que la descarga era conducida casi enteramente por el gas raro.

Por lo tanto decidimos investigar las descargas de condensador a través de gases raros solos. Inmediatamente se obtuvieron interesantes resultados. Se encontró que al incrementar la energía descargada a través del tubo, la calidad de la radiación cambiaba. Los espectrogramas revelaron que para las densidades de corriente más altas llegaba a producirse una radiación contínua, y que la línea característica del espectro del elemento gaseoso en el tubo pasaba a ser menos dominante (*Vid.* figura 1). Finalmente se produjeron tubos en los cuales un tubo interior o tubo guía tenía un reborde a cada extremo, pero sólo uno de ellos estaba soldado al tubo exterior. Así se conseguía una libertad de expansión y movimiento del tubo interior bajo las ondas de choque y el aumento de temperatura que tienen lugar al pasar la pulsación de la descarga.

Se observó que tales tubos podían acarrear corrientes de considerable intensidad durante períodos de tiempo muy cortos; en la tabla damos algunos datos típicos.

Tipo	*Carga en Joules*	*Lumen seg. aprox.*	*Duración efectiva (micro-segundos)*	*Uso general*
SF_4	400	16.000	450	Tubos lineales para fines científicos
SF_5	200	7.000	350	
SF_6	100	3.000	200	

Durante el curso de los experimentos se observó que el arco no llenaba completamente la sección del tubo (*Vid.* figura 3, la cual muestra una descarga de 200 joules a través de un tubo relleno de xenón). Tales fotografías permitieron medir la anchura aproximada del arco, con la cual se calculó que la densidad media de corriente en la descarga era de un orden de al menos 1000 A/cm^2.

Observaciones de esta índole, junto con mediciones del rendimiento luminoso de la descarga indicaron que el desarrollo de una radiación continua por el tubo de descarga por destello coincidía con el desarrollo de un rendimiento relativamente elevado. Cuidadosas mediciones del flujo total emitido por un tubo SF_4 tomado conjuntamente con la energía descargada del condensador, mostraron que en el caso de un tubo relleno de xenón era posible un rendimiento del orden de 40 lúmenes por vatio y de unos 30 l/W para un tubo relleno de criptón. En cada caso la radiación era de color blanco y la distribución de la energía espectral no era muy distinta de la de la luz diurna, aunque había una predominancia de energía en el extremo azul del espectro mayor que la presente en la luz del día. Se llegaron a construir unos diez tipos de tubos y muchas son las aplicaciones que se han hallado para tales tubos de descarga por destello de repetición, no solamente en su forma lineal inicial sino en formas más compactas en las cuales el propio tubo de descarga está arrollado en hélice (figura 2).

El desarrollo de una fuente de luz blanca de elevado rendimiento y carácter intermitente estimuló el trabajo para producir una fuente luminosa de gas raro de funcionamiento contínuo, de calidad como la luz diurna y de elevado

[1] ALDINGTON, J. N., *Endeavour*, 7, 21, 1948.

(a)

(b)

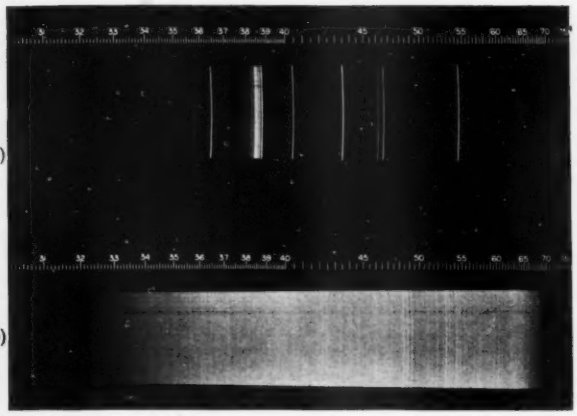


FIGURA 1 – (a) *Descarga a baja corriente a través del criptón.* (b) *Descarga a elevada corriente a través del criptón.*

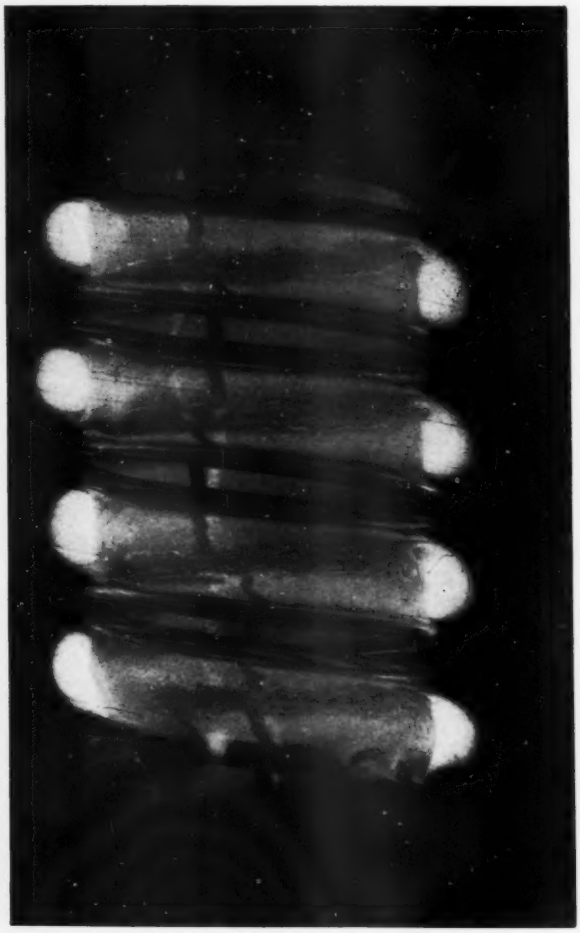


FIGURA 2 – *Hélice de tipo compacto de un tubo de descarga por destello.*

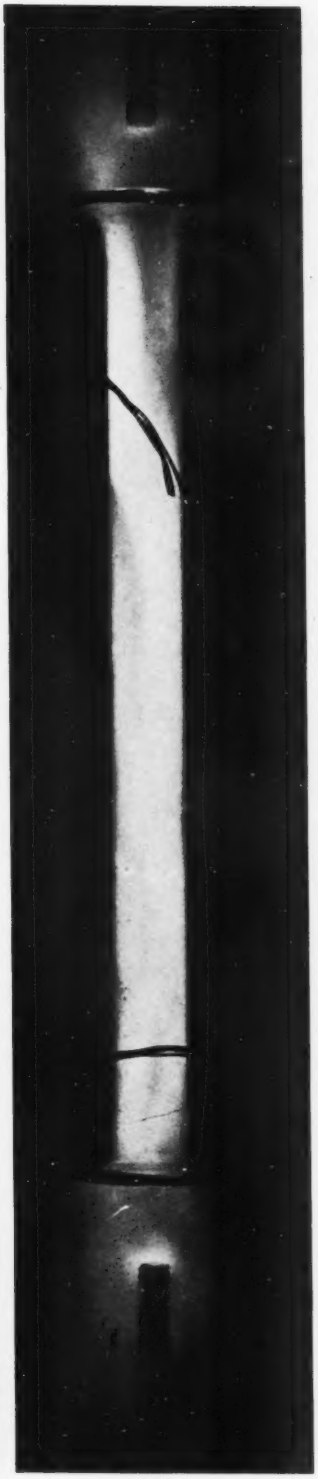


FIGURA 3 – *Descarga de 200 joules a través de un tubo relleno de xenón.*

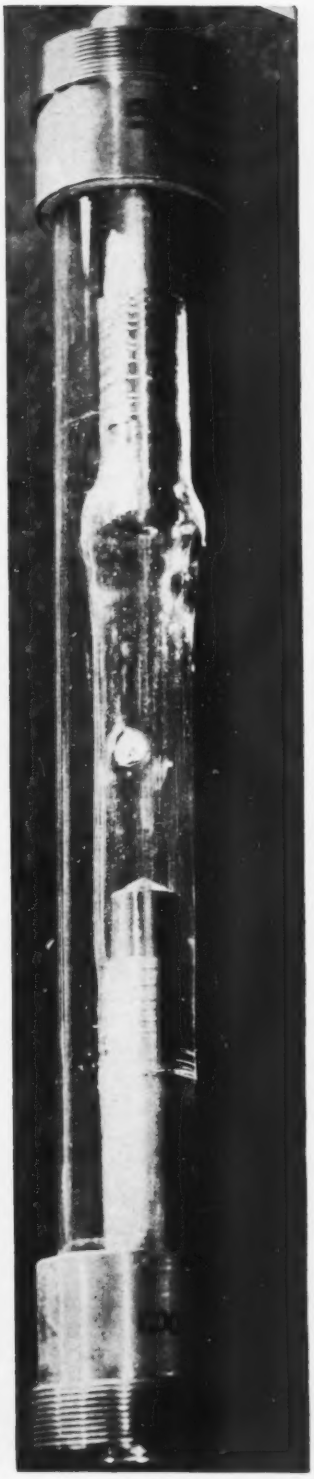


FIGURA 4 – *Arco de gas completo con camisa de agua.*

rendimiento, hasta que en 1947 se anunció el éxito en la producción de tal arco de gas.

EL ARCO DE GAS

El término «arco de gas» ha sido aplicado por el autor a las lámparas de descarga de gases raros accionadas bajo condiciones que originan una emisión radiativa de calidad parecida a la de la luz diurna. La radiación del arco de gas se caracteriza por un continuum intenso que se extiende desde el ultravioleta a través de la región visible hasta el infra-rojo. Previamente habíamos observado que mientras la descarga a través de argón a baja presión producía una radiación azulada de intensidad y rendimiento bajos, a presiones mayores y con elevadas densidades de corriente se podía excitar el argón hasta producir una intensa luz blanca de elevado rendimiento. Por comparación con los resultados obtenidos con el tubo de descarga por destello pareció que las posibilidades con el criptón y con el xenón eran todavía más favorables, y se decidió investigar su comportamiento dentro de una amplia gama de presiones y densidades de corriente. En esencia, el problema consistía en determinar si con los materiales disponibles era posible excitar los gases raros, ya individualmente o bien mezclados entre sí, hasta el punto de obtener un espectro de fondo continuo; y en segundo lugar determinar si bajo tales condiciones se podía conseguir una lámpara práctica con un rendimiento razonablemente elevado.

Al considerar el desarrollo de cualquier tubo de descarga en el cual un gas dado esté herméticamente cerrado, existen un número de factores evidentes, y no obstante importantes, que hay que tomar en consideración. Dichos factores incluyen: la temperatura que alcanzarán las paredes del recipiente, la temperatura a que llegarán los electrodos al tener lugar la descarga, la estabilidad física y química de los electrodos, y el material del recipiente expuesto a la descarga.

En trabajos previos se observó que, tal como se indica en la figura 3, una descarga restringida tenía lugar en el criptón y en el xenón a presiones relativamente bajas. Tal efecto está relacionado con el elevado peso atómico y baja movilidad de tales elementos. Una descarga tan restringida tiende a ser muy móvil y está fácilmente influída por las corrientes de convección y por el campo eléctrico.

Tales consideraciones sugirieron el empleo de una lámpara de forma tubular y de carga relativamente alta. Las consideraciones generales antes mencionadas indicaban claramente que el único material práctico para el recipiente era el cuarzo. Finalmente, para una carga de 5 kW se escogió como tamaño más apropiado un tubo de cuarzo de 12 mm de diámetro interior y 6,5 cm entre los electrodos. Fué preciso enfriar el tubo de cuarzo en una corriente de agua; el arco de gas completo se indica en la figura 4.

Los electrodos consistían en unas barras de tungsteno pulido conteniendo un 5% de torio, cuyos extremos eran cónicos, de forma que el arco se centrase en la punta. Estaban diseñados para que llenaran el espacio interior del tubo de cuarzo y en los extremos opuestos a los del arco estaban terminados con láminas de cierre de molibdeno. Durante la construcción de la lámpara estas láminas fueron selladas al vacío entre el tubo de cuarzo exterior y un miembro de cuarzo interior.

El arco de gas producido es en esencia un dispositivo de elevada corriente y baja tensión. Con una carga de 5 kW la corriente es de unos 80 A y el voltaje del arco entre electrodos es del orden de unos 65 V.

Paralelamente con estos trabajos sobre lámparas de arco de gas de forma tubular, se han llevado a cabo también trabajos experimentales sobre lámparas de cuarzo rellenas de xenón, con enfriamiento de aire, parecidas a las lámparas de vapor de mercurio a alta presión. Si la distancia entre electrodos se reduce hasta unos 15 mm es posible obtener un arco de un brillo del orden de unas 25 000 bujías/cm^2 con una carga de 3 kW. Los trabajos en ambos campos todavía continúan y no hay duda que se conseguirán otros tipos normales para uso comercial.

PROPIEDADES DEL ARCO DE GAS

El arco de gas xenón con enfriamiento de aire y una carga de 5 kW tiene un rendimiento de 30 l/W. Parecido rendimiento ha sido logrado con formas de arco cortas y enfriamiento de aire y se han conseguido rendimientos hasta de 40 l/W con formas lineales experimentales de lámparas enfriadas por aire, diseñadas de tal forma que la tensión del arco sea del orden de unos 100 V.

El arco de gas tiene una característica voltio-amperio positiva, pero es deseable operarlo de forma semejante a otras lámparas de descarga, o sea en serie con un dispositivo limitador de corriente. Al accionar la lámpara, la corriente puede variarse dentro de amplios límites y una importante característica consiste en que al cambiar la corriente del arco, tiene lugar un cambio secundario en el color de la radiación.

Gay-Lussac (1778–1850), químico

K. R. WEBB

Relato de la vida y los trabajos científicos de Gay-Lussac. En colaboración con Thénard, descubrió un método mejorado para aislar los metales de álcali; redujo el ácido bórico a boro, y preparó los más altos óxidos alcalino-terrosos. Este último trabajo incluyó el establecimiento del yodo como un elemento y el aislamiento del cianógeno; notable contribución a la tecnología química y la química analítica. Estudio del carácter de Gay-Lussac, basándose en las referencias de sus contemporáneos.

Joseph Louis Gay-Lussac nació en St. Léonard-le-Noblat, a unos 22 km de Limoges, el 6 de diciembre de 1778. Era hijo de un jurisconsulto y terrateniente de la localidad [2]. Al nombre de familia, Gay, se había añadido el del pueblo, Lussac, donde se hallaba la propiedad territorial del padre. Debido a la agitación social de Francia durante la niñez de Joseph, éste fué instruído en su hogar por un clérigo, el Abate Bourdeix, hasta que los eclesiásticos fueron expulsados del país, y hubo de esperar hasta noviembre de 1794 para poder ir a París, a comenzar en serio sus estudios para los exámenes de ingreso en la *École Polytechnique*. En aquella época, Joseph era un muchacho muy inquieto y, más tarde, en la edad reposada, asombraba a sus amigos contándoles travesuras juveniles que él mismo había capitaneado [3].

Gay-Lussac

Los estudios de Gay-Lussac fueron muy aprovechados, y el 27 de diciembre de 1797 fué admitido en la *École Polytechnique*, después de unos brillantes exámenes. Terminado con éxito el curso — durante el cual tuvo tiempo de dar lecciones de matemáticas, para mejorar la beca del Estado de 60 francos al mes — Gay-Lussac abandonó la Escuela el 22 de noviembre de 1800.

Estaba ya señalado por el dedo de la fama, y habiendo servido como auxiliar a Fourcroy y a Berthollet, el cual observó su agilidad de inteligencia, Gay-Lussac pasó a trabajar en el laboratorio particular de Berthollet, en Arcueil, donde comenzó su carrera de investigador estudiando las propiedades físicas de los gases. En 1802 publicó su primera memoria sobre la expansión térmica de dichos cuerpos. Se ocupó también, por aquel período, en otros estudios físicos, realizando trabajos sobre presiones de vapor, termometría, higrometría, eudiometría y medida de los efectos capilares, habiendo sido, al parecer, un precursor en el uso del catetómetro.

En 1804, en unión de Biot, emprendió ciertas aventuras aerostáticas de tipo espectacular, aunque con propósito estrictamente científico. Se trataba de descubrir si las fuerzas magnéticas seguían operando por encima de la superficie de la tierra. En la primera ascensión, los investigadores no hallaron disminución hasta los 4000 m, altura máxima que pudo alcanzar el globo con los dos sabios a bordo. Gay-Lussac hizo más tarde, el 16 de septiembre de 1804, otra ascensión solo, hasta más allá de 7000 m (que fué la máxima altura lograda hasta entonces) y confirmó sus observaciones anteriores, trayendo a tierra ciertas muestras de aire para su análisis.

En 12 de marzo de 1805, Gay-Lussac salió de París con Alexander von Humboldt, recientemente regresado de sus famosos viajes por América, para realizar una excursión científica por Italia y Alemania. Llegaron a Roma a principios de julio, y allí, en la casa de Wilhelm von Humboldt,

ministro prusiano, el joven sabio gozó la compañía de varias ilustres personalidades del mundo científico y artístico, y, habiéndosele cedido un laboratorio, descubrió la presencia de fluoruros y de fosfatos en las espinas de los peces. Más tarde, se dirigió a Nápoles, donde el Vesubio, que estaba dormido hacía tiempo, despertó de pronto con tal furia que, según palabras de uno de sus compañeros, Gay-Lussac tuvo la «dicha» de experimentar uno de los más tremendos terremotos conocidos en aquella región. En el viaje de regreso, los excursionistas se detuvieron en Florencia, Bolonia y Milán, donde visitaron a Volta, a quien les fué muy difícil encontrar, porque vivía en un modesto retiro. Llegaron en noviembre a Berlín, donde Gay-Lussac permaneció todo el invierno como huésped de von Humboldt, regresando finalmente a París en la primavera de 1806. El 8 de diciembre de 1806, Gay-Lussac fué elegido miembro del *Institut de France*, en substitución de Brisson, físico y naturalista.

Gay-Lussac y Biot Durante la ascensión

En 1807, Gay-Lussac llegó á ser uno de los primeros miembros de una selecta asociación científica — la *Société d'Arcueil* — fundada por su antiguo patrono Berthollet. En el segundo volumen de sus *Memorias* (correspondiente a 1808) aparece una memoria, leída el 31 de diciembre de 1808, en la que se expone por primera vez, en líneas generales, la Ley de Volúmenes Gaseosos Combinados de Gay-Lussac, uno de los pilares fundamentales de la teoría química elemental.

Por aquel tiempo, Gay-Lussac comenzó su fructuosa colaboración con Louis Jacques Thénard (1777–1857) [5], del que hablaremos nuevamente más adelante. En 1808, Gay-Lussac se casó con Joséphine Rogeot, a quien vió por primera vez trabajando como dependiente en una pañería de lino de París. Observó que esta muchacha de 17 años leía un tratado de química en los ratos de ocio. Averiguó que su educación había sido interrumpida por los disturbios de la Revolución, y entonces Gay-Lussac se ocupó de completar su instrucción, casándose luego con ella. Fué una pareja ideal, aunque de momento Gay-Lussac no tenía una posición de importancia. La consiguió después al ser nombrado profesor de física en la *Sorbonne* y, el 31 de marzo de 1809, profesor de química práctica en la *École Polytechnique*, donde pasó a ser profesor con plenitud de derechos a la muerte de Fourcroy, en 1810.

Gay-Lussac y Thénard se conocieron como compañeros de estudios en la *École Polytechnique*, en 1798. De 1808 a 1809 comenzaron a trabajar juntos, usando una batería eléctrica gigante que les proporcionó el propio Napoleón, con el deseo de sobrepasar el brillante descubrimiento de los metales alcalinos por Davy, en 1807. Pero los dos científicos franceses descubrieron otro método alternativo y más eficiente para descomponer los álcalis, reduciéndolos al estado de fusión con hierro albar. Usando potasio preparado en esta forma, redujeron el ácido bórico, leyendo una nota preliminar sobre este punto el 21 de junio de 1808. Gay-Lussac fué seriamente herido por una explosión el 3 de junio de 1808, mientras manipulaba

el potasio. Estuvo a punto de perder la vista en aquella ocasión, y padeció siempre de los ojos como consecuencia del accidente. A fines de 1808, un nuevo elemento, el boro, quedó perfectamente caracterizado. Debe advertirse que Davy hizo también trabajos independientes en este campo.

Además Gay-Lussac y Thénard estudiaron la oxidación de los metales alcalinos y prepararon sus óxidos más altos, así como los del bario y del calcio [5].

Por aquella época, tuvo lugar también la famosa controversia de Gay-Lussac y Thénard frente a Davy, referente a la naturaleza del cloro, que se llamaba entonces ácido oximuriático y del que se pensaba que contenía oxígeno. Los experimentos de Davy probaban de un modo concluyente que aquel gas no contenía oxígeno, y que se comportaba en todas sus reacciones como un elemento. Los franceses, adhiriéndose a la teoría de Lavoisier de que el ácido muriático, o clorhídrico, debía contener oxígeno como principio acidulante, consideraban que el cloro, producto de su oxidación, tenía que contener también oxígeno. Al final, quedó en claro el acierto de la opinión de Davy, siendo descartada de la química la fracasada teoría del oxígeno en los ácidos [6].

En 1811, el yodo, segundo de los elementos halógenos que se trataba de aislar, fué descubierto por Courtois. Poco después de publicarse este descubrimiento, el 29 de noviembre de 1813, tanto Davy como Gay-Lussac emprendieron independientemente una investigación sobre el yodo y sus derivados. El resultado de dicho trabajo fué el establecimiento del yodo como un elemento. En agosto de 1814, Gay-Lussac presentó a la Academia su estudio completo acerca de las «Investigaciones sobre el yodo». Contribuyó también a los trabajos químicos iniciales sobre el flúor, pues en 1809, en colaboración con Thénard, preparó por primera vez una muestra pura de ácido fluorhídrico acuoso concentrado. El material bruto había sido obtenido por Scheele en 1771 [7].

En 1815, se realizaron dos trabajos verdaderamente importantes. Ya en 1811, Gay-Lussac y Thénard habían introducido el clorato de potasio, como agente acidulante, en el análisis orgánico cuantitativo. Habiendo resultado esta substancia un poco violenta, Gay-Lussac la substituyó en 1815 por la más suave del óxido de cobre, especialmente en los análisis de substancias nitrogenadas. Al poco tiempo, Döbereiner aplicó universalmente el óxido de cobre, en lugar del clorato, con gran éxito. Gay-Lussac descubrió también en 1815 el cianógeno, primer radical compuesto que se logró aislar. El azul de Prusia había sido descrito ya en 1704. Scheele obtuvo de él, por destilación con ácido sulfúrico, una solución acuosa de «olor y gusto peculiares», que fué nombrado ácido prúsico por Lavoisier, De Morveau, Berthollet y Fourcroy en 1787 [7]. En 1811, Gay-Lussac obtuvo la substancia anhidra por destilación de cianuro mercúrico con ácido clorhídrico concentrado, y, en 1815, aisló el propio cianógeno por la descomposición térmica del cianuro mercúrico. Mostró la analogía química general entre el cianógeno, el cloro y el yodo.

En el año siguiente, 1816, Gay-Lussac publicó su memoria sobre los óxidos de nitrógeno, especialmente interesante por su relato del análisis del dióxido de nitrógeno. Algunos años antes había determinado la composición del óxido nítrico, quemando potasio metálico en el gas. Tres años más tarde, en colaboración con Welter, descubrió y estudió el ácido ditiónico acuoso.

Por aquel tiempo, Gay-Lussac comenzó a preocuparse cada vez más por el desarrollo o la modificación de los procesos de importancia en la tecnología química. En 1806 había sido nombrado miembro del comité consultivo de artes y oficios. En 1818 se le nombró superintendente de la fábrica de pólvora del gobierno; en 1829, jefe ensayador de la Casa de la Moneda, y en 1832, profesor de química general en el Museo de Historia Natural, abandonando la catédra de física en la *Sorbonne*.

En 1821, Gay-Lussac demostró que la madera se hacía in-inflamable impregnándola con varias sales inorgánicas, tales como el bórax o el fosfato amónico, que pueden prepararse fácilmente en grandes cantidades. La torre de Gay-Lussac, para la absorción y conservación de los gases nitrosos, en la fabricación de ácido sulfúrico por el proceso de la cámara de plomo, fué descubierta en 1827, como resultado de una inspiración repentina de Gay-Lussac. Se dice que le vino la idea súbitamente durante la noche y que, con ayuda de un asistente llamado Lacroix, demostró su practicabilidad, en pequeña escala, al nacer el día siguiente [2].

Debemos mencionar ahora los grandes servicios prestados por Gay-Lussac a la química analítica. Estos fueron de importancia fundamental. En 1806, Decroisilles había substituído las medidas de los pesos por las de los volúmenes, en la determinación de alcalinidad por neutralización con ácido; pero Gay-Lussac, conservando el mismo principio simplificó grandemente las operaciones implicadas con la invención de su bureta (diferente del instrumento moderno) y aplicó el método no solamente

a los análisis volumétricos ácido-alcalinos, sino también a la determinación de cloro en polvo de blanquear, usando una solución de ácido arsenioso (1824, 1835) y más tarde a la determinación de la plata por una solución standard de cloruro de sodio (publicada, con todo detalle, después de 1830).

Aunque Gay-Lussac publicó alrededor de 150 memorias científicas, no escribió ningún libro de texto de química. En 1828 aparecieron, sin embargo, dos volúmenes de notas de sus lecciones de química, tomadas de una versión taquigráfica. En la misma forma se publicaron hacia el mismo tiempo otras notas recogidas de sus lecciones de física.

Otros dos trabajos de Gay-Lussac merecen ser mencionados: su descubrimiento, en 1829, de que un oxalato resulta de la reacción entre un álcali fundido y la madera, hallazgo que condujo a la manufactura práctica del ácido oxálico, y la investigación sobre los productos volátiles derivados del *aqua regia* (1848), su última obra publicada.

Gay-Lussac mantuvo ideas bastante avanzadas, para su tiempo, respecto al estado de las sales en solución; ideas que sólo entraron a formar parte de la teoría química a fines del sigo XIX, por virtud de los trabajos sobre esta materia de Van't Hoff y Arrhenius. Gay-Lussac debe ser considerado, en realidad, como uno de los fundadores de la moderna química física.

El carácter de Gay-Lussac ha sido descrito por algunos de sus contemporáneos. Al comienzo de su carrera, Berthollet le dijo: «Joven: su destino es hacer descubrimientos». Davy, hacia 1813, trazó este bosquejo de nuestro biografiado: «Gay-Lussac era rápido, vivo, ingenioso y profundo, con gran actividad mental y gran facilidad de manipulación. Yo le colocaría a la cabeza de los químicos actuales de Francia» [8]. Este elogio de Davy, gran rival de Gay-Lussac, tiene un valor excepcional. Otra referencia británica nos viene del toxicólogo Sir Robert Christison, que asistió a las lecciones de Gay-Lussac en 1820 y quedó gratamente impresionado por su agradable apariencia y su voz, a la vez firme y suave. Christison describió aquellas lecciones como «un ejemplo extraordinario de continuo e inexpugnable razonamiento experimental» [9].

Otra apreciación (de Ferguson, no contemporáneo) es tal vez más desapasionada, aunque menos laudatoria: «Gay-Lussac era reticente, pacienzudo, perseverante, escrupulosamente exacto, tal vez un poco frío y reservado, y algo orgulloso de su gran pericia. Pero era también audaz y enérgico, no sólo en su trabajo, sino igualmente en la defensa de sus amigos. La entereza que mostró frente a sus accidentes de laboratorio reveló en él la decisión de afrontar incluso la ceguera y la invalidez, en holocausto de la ciencia, que era para él toda su vida» [10].

El 1° de enero de 1850, Gay-Lussac se enfermó en Lussac, adonde se retiraba frecuentemente en sus últimos años y donde tenía una casa con laboratorio y biblioteca. A los dos meses fué trasladado a París, en una breve pausa de sus sufrimientos, y murió allí de una enfermedad del corazón, el 9 de mayo de 1850, a los 72 años de edad [2].

BIBLIOGRAFIA

[1] READ, J. «Humour and Humanism in Chemistry». Londres, 1947.

[2] MICHAUD, L. G. «Biographie Universelle». (Volumen 16). París, 1865.

[3] TILDEN, SIR W. A. «Famous Chemists — The Men and Their Work». Londres, 1921.

[4] WEEKS, M. E. «Discovery of the Elements». Easton, Pa., 1945.

[5] WEBB, K. R. *Chem. and Ind.* 2, 1945.

[6] LADENBURG, A. (traducido por L. Dobbin). «History of Chemistry». Londres, 1900.

[7] WEBB, K. R. *Chem. and Ind.*, **62**, 139, 1943.

[8] TILDEN, SIR W. A. *Op. cit.*

[9] PARTINGTON, J. R. *Nature*, **165**, 708, 1950.

[10] ARMITAGE, F. P. «A History of Chemistry». Londres. 1928.

Revista de libros

AGRICULTURA

PURI, A. N. (con un prefacio de Firman E. Bear). *Soils, their Physics and Chemistry* (Física y Química de los Suelos). XV + 550 págs., con diagramas a línea. Reinhold Publishing Corporation, Nueva York; Chapman and Hall Limited, Londres. 1949. 56s.

A pesar de su título, esta obra no es un libro de texto, sino un tratado que presenta en gran detalle un enfoque original e independiente del estudio de los procesos químicos y mecánicos del suelo, basado en las investigaciones propias de su autor. Es por lo tanto una oportuna contribución al progreso de dichos estudios, y muy posiblemente sea la más notable aportación de la ciencia hindú al progreso científico universal. El prefacio del Dr. Puri rechaza la clasificación de su obra como un tratado, insistiendo en que fué escrita para los estudiantes. Pero es muy difícil aceptar esto, ya que sus concepciones son muy heterodoxas y, aunque simplifican los problemas de la ciencia del suelo desde el punto de vista del estudiante, deben obtener general aceptación antes de que se las pueda considerar como base sólida para la enseñanza.

Nadie rechazará la afirmación del Dr. Puri de que los estudios ortodoxos de esta rama son confusos, incompletos y a menudo indecisivos. Con gran elocuencia y pruebas evidentes insiste en la necesidad de principios más simples y fundamentales, ya que si los mejores resultados que los principios hoy vigentes pueden suministrarnos son análisis que deben interpretarse más o menos empíricamente, ¿ no es ya hora de que retornemos a los fundamentos y demos nueva forma a nuestras ideas ? Existe, entre los investigadores más jóvenes, la creciente convicción de dichas debilidades; ellos hallarán extraordinariamente audaz y estimulante el ensayo del Dr. Puri de unificar lo irreconciliable y llenar las lagunas existentes en dichos estudios.

Su teoría química es que todos los suelos son ácidos capaces de formar sales; denomina «saloides» dichas sales y afirma que los suelos naturales son mezclas de saloides y «acidoides». Su comportamiento químico obedece las leyes estoiquimétricas generales. Como los saloides son sales de ácidos débiles, sufren considerable hidrólisis, y así, las regiones secas tenderán a ofrecer suelos alcalinos y las húmedas suelos ácidos. El autor insiste en que las investigaciones deben concentrarse sobre el hidrógeno intercambiable de los acidoides del suelo. Rechaza la idea de adsorción, especialmente en el caso del ión fosfato. Presenta una explicación puramente química de la nitrificación de los nitritos.

Queda por ver si las simplificaciones del Dr. Puri hallarán general acogida. Muchos opinan que la ciencia del suelo, como la ciencia médica, será siempre una ciencia inexacta. Es, con todo, de extraordinaria importancia que este libro reciba cuidadosa lectura entre los especialistas de la materia.

D. P. HOPKINS

BIOGRAFIA

WILLSTÄTTER, RICHARD: «*Aus meinem Leben*». Publicado por Arthur Stoll. 453 págs., con 32 tablas. Verlag Chemie, Weinheim/Bergstrasse. 1949. 28DM.

La muerte de Richard Willstätter en 1942, a poco de cumplir los setenta años, significó la desaparición de una de las grandes figuras de la Química orgánica en Alemania, que ocupó un lugar en la lista ininterrumpida de investigadores que lleva desde Justus von Liebig, pasando por su discípulo A. von Kekulé, a Adolf von Baeyer, y a Emil Fischer y Richard Willstätter. Pocos quedan ya de la generación de éste; su sucesor en la cátedra de Munich, H. Wieland, ha alcanzado ya la edad de jubilación, y Hans Fischer, otro de los grandes químicos orgánicos de Munich, ha muerto.

Las memorias de Willstätter, escritas en su mayor parte durante su exilio en Suiza, ha sido cuidadosamente coleccionadas y publicadas por su fiel ayudante y amigo de muchos años, Arthur Stoll. Sus trabajos científicos son solamente un aspecto del libro, que es, en su mayor parte, una buena aportación a la vida cultural y científica europea. La distinguida carrera de Willstätter, iniciada en Munich bajo la férula de su gran maestro Adolf von Baeyer, floreció en un brillante período en Zurich, de donde Willstätter pasó a Berlín-Dahlem, terminando por último de nuevo en Munich. Continuó Willstätter sus investigaciones sobre las enzimas con su fiel ayudante la Doctora Margarete Rohdewald, hasta que en 1939 buscó refugio en Suiza contra la creciente persecución.

La autobiografía del gran científico está escrita sin amargura, pero con todo el amor de un buen alemán por su país. Richard Willstätter, Premio Nobel y Miembro Correspondiente de la *Royal Society*, será recordado por sus estudios sobre los alcaloides, antocianinas y enzimas cuando se hayan olvidado ya los trágicos nombres de sus perseguidores.

P. ROSBAUD

BOTANICA

BUTLER, SIR EDWIN, y JONES, S. G. *Plant Pathology*. XII + 979 págs., con 435 ilustraciones a línea y medio tono. Macmillan and Company Limited, Londres. 1949. 63s.

Sir Edwin Butler era uno de los pocos investigadores que tenían la visión y amplitud de conocimientos necesarias para enfocar el campo todo de la patología vegetal. En su trabajo anterior, «*Fungi and Disease in Plants*», publicado en India en 1918, aparecían ya descritas las enfermedades de las plantas de cultivo orientales, tras una sección general sobre la morfología, nutrición y patogénesis de los hongos. El propósito de la presente obra fué, primeramente, revisar el texto de 1918, pero acabó por convertirse en un libro nuevo en el que el centro de interés pasó de la patología de las plantas tropicales a las de mayor importancia en la Gran Bretaña.

Antes de morir en 1943, Sir Edwin había casi completado toda la sección general de la obra, que se distingue por el seguro manejo de las relaciones entre el anfitrión y los hongos parásitos y del estudio de la influencia del medio ambiente sobre el parasitismo. Dicha sección va concluída con un estudio general de los desórdenes vegetales causados por los virus y por deficiencias nutricionales.

En los dos tercios restantes de la obra, el Dr. S. G. Jones desarrolla el plan de estudio de las enfermedades específicas por cosechas y no por la posición sistemática de los patógenos. Las enfermedades descritas no sólo incluyen las de los cereales, pastos, raíces, legumbres y fruta, sino también las de árboles de flor y de foresta. Los ejemplos cubren una amplia zona geográfica, pero se da primacía a las enfermedades comunes en la Gran Bretaña.

Es muy posible que este libro sea el último esfuerzo por producir una obra general sobre un tema que se halla totalmente desintegrado por la especialización. Por su carácter mismo, una

obra de este tipo tiene que presentar numerosos defectos de detalle, pero en su conjunto es un libro excepcional que merece un lugar en todo laboratorio en que se estudie la patología vegetal. Su publicación, por largo tiempo esperada, corona la gran carrera de Sir Edwin Butler, quien ha ejercido una de las más decisivas influencias en el estudio de la patología vegetal.

R. W. MARSH

CITOLOGIA

GAUTHERET, R.-J. *La Cellule: Principes de Cytologie générale et végétale.* 404 págs. Albin Michel, París. 1949.

Obra excelente ésta y de gran valor en el momento presente cuando se están realizando numerosas investigaciones de gran importancia por investigadores que poseen muy escaso conocimiento citológico general. En ella se cubre todo el campo de la citología, sin hacer resaltar indebidamente ningún aspecto de la misma, por lo que la obra es excepcional en el conjunto de textos modernos sobre la materia. De moderada longitud, el libro no puede estudiar profundamente ningún aspecto particular sin producir cierto desequilibrio, lo que el autor ha evitado cuidadosamente. No todos los especialistas aprobarán todas las secciones de la obra. Por ejemplo, la explicación de la microscopía de contraste de fase no es enteramente satisfactoria, y la explicación del núcleo de inter-fase no ha de hallar universal aceptación. Con todo, la información general contenida es exacta, tratándose de todos los puntos dudosos con juiciosa cautela, sin gastar espacio en detalles de las hipótesis; la exposición toda es un ejemplo admirable de la lógica y claridad francesas.

JOHN R. BAKER

FISIOLOGIA

HARTRIDGE, HAMILTON. *Recent Advances in the Physiology of Vision* (Progresos recientes en la Fisiología de la Visión). 412 págs. J. and A. Churchill Limited, Londres. 1950. 25s.

Como indica su autor en el prefacio de esta obra, han aparecido durante los últimos cinco años en Gran Bretaña cinco libros importantes que tratan de esta materia. El Profesor Hartridge, Director de la Sección de Investigaciones sobre la Vision del Consejo de Investigaciones Médicas, añade a dicha lista un estudio de las publicaciones más recientes, con comentarios sobre las teorías de sus autores y, a veces, sugerencias de sus propias interpretaciones opuestas. El libro se divide en ocho capítulos principales, cada uno de los cuales trata de una distinta función del ojo, por ejemplo: investigaciones de la función retinjana, percepción de forma y tamaño, percepción de color, y las teorías de la visión del color. Otros capítulos estudian la neurología de la visión, propiedades de las estructuras oculares, apreciación de luz y color, y algunos principios básicos de la visión.

Al describir los experimentos y sus resultados, el Profesor Hartridge escribe con su lucidez acostrumbrada; pero cuando se estudian las teorías es justo, sin embargo, mencionar opuestos puntos de vista. El tratamiento general de esta obra tiende en ocasiones a confundir un tanto el cuadro general, ya que las teorías (como por ejemplo en el caso de los colores) son a veces muy numerosas. Uno de los propósitos expresos del autor es estimular la subsiguiente investigación señalando ciertas lagunas en nuestro conocimiento, y en este sentido su obra ha de tener considerable valor para todo investigador y especialista. No ha de tener tanto para el estudiante hasta que éste no haya adquirido cierta información sobre la materia.

La naturaleza de los numerosos problemas que quedan por resolver indica que el progreso de la investigación sería notable si en ella se aplicasen intensivamente las delicadas técnicas que son hoy posibles gracias a los avances de la física nuclear y electrónica.

J. M. PINKERTON

OCEANOGRAFIA

COLMAN, JOHN S. *The Sea and its Mysteries* (Los Misterios del Mar). 285 págs., con varios dibujos a línea e ilustraciones a medio tono. G. Bell and Sons Limited, Londres. 1950. 12s.

El mar es un vasto medio tridimensional, objeto de estudio de la Oceanografía, la cual es un complejo de todas las ciencias desde la Astronomía (por su relación con las mareas) hasta la Bacteriología. Nadie puede poseer hoy en día un conocimiento detallado de más de algunas de dichas ciencias, y aun los especialistas se inclinarán en una u otra dirección, bien física o biológica. Se sigue, por tanto, que un estudio general del mar tiene que reflejar los intereses más señalados de su autor. El de este libro es un zoólogo, como muy pronto podrá descubrir el lector, pero ha producido un estudio muy equilibrado del mar; los capítulos primeros tratan de los problemas físicos y químicos, y aunque contienen mucho material tomado de «*The Oceans*» de Sverdrup, Johnson y Fleming, también se halla en ellos la primera popularización de las más recientes investigaciones sobre las olas.

Mr. Colman posee la autoridad que le da su amplia experiencia de la biología marina; ha realizado investigaciones sobre el plankton tropical, trabajando en los arrecifes de coral de la Gran Barrera australiana y en el Mar Caribe, y contribuyendo importantemente a los estudios de la zonación inter-mareal de las costas británicas y norteamericanas; ha realizado asimismo investigaciones en las aguas profundas de numerosas latitudes. Todo ello se refleja en sus escritos, que producen la clara impresión — no muy común en las obras de popularización — de conocimiento directo de los temas. El libro aparece ilustrado con una serie de excelentes planchas y numerosas figuras en el texto, entre las que se destacan las de los animales de aguas profundas. Es ésta una obra excelente dentro de los límites que se ha impuesto su propio autor.

C. M. YONGE

QUIMICA

PENN, W. S. *High Polymeric Chemistry* (Química de los altos Polímeros). 487 págs., con diversas ilustraciones a línea y medio tono. Chapman and Hall Limited, Londres. 1950. 36s.

La presente obra sobre los altos polímeros es una de las que en la actualidad están apareciendo con el propósito de llenar la laguna existente entre los tratados sobre los materiales plásticos y las monografías físico-químicas sobre las moléculas largas.

El libro de Mr. Penn se aproxima más en contenido a los de Ritchie y Mark-Raff, siendo un estudio cualitativo de la química general y orgánica de los altos polímeros. Se pueden escribir buenos libros, como ha probado Ritchie, desde dicho punto de vista, pero éste no es uno de ellos; su característica principal y más curiosa es que aunque su contenido se halla enteramente al día, no lo está su tratamiento. Cubre, ciertamente, un amplio campo de la química polimérica, y algunos temas tratados sólo muy recientemente han despertado interés general, como en el caso de la goma sintética « fría» GR-S, pero la exposición es por demás anticuada, cuando no confusa. A juzgar por las citas contenidas, la obra

parece haber sido preparada durante el período 1945-7, pero las ideas desarrolladas pertenecen más bien a 1940. Las citas, tanto teóricas como industriales, cubren un amplio campo, lo que quizás explique este defecto de la obra, ya que su autor no se ha esforzado por podar ciertas hipótesis y experimentos anticuados, irrelevantes y desacreditados; lo cual se aplica principalmente a los primeros e importantes capítulos sobre mecanismos y métodos, ambos muy deficientes. La obra contiene numerosas generalizaciones aventuradas que producen en el lector un efecto cumulativo de irritación. En nuestra opinión su autor no ha conseguido cumplir su propósito.

R. F. TUCKETT

SMITH, S. J. *Advanced Chemical Calculations* (Cálculos químicos avanzados). 454 págs. Macmillan and Company Limited, Londres. 1950. 17s.

Esta obra es la continuación de la anterior del mismo autor titulada «*Introductory Chemical Calculations*» y destinada a los estudiantes universitarios; en ella se omiten los problemas que no se prestan a un tratamiento matemático relativamente fácil, o que suponen solamente la substitución en alguna fórmula. La inclusión de gran número de ejemplos tomados de exámenes, con las soluciones correspondientes, harán la obra muy útil para profesores y alumnos. En algunos casos el texto da una explicación del método usado, en otros hay una referencia a otros libros. Se incluyen los cálculos de la química orgánica, pero no se explican los métodos para la determinación de estructuras. La termodinámica y la electroquímica forman parte del programa de la química-física. El texto es, por lo común, adecuado; aunque el difícil tema del potencial de contacto líquido, que tanta dificultad causa a la mayoría de los estudiantes, no está muy bien estudiado, omitiéndose algunos casos en donde se presenta. Existen algunas inexactitudes menores que podrán ser corregidas en futuras ediciones. En la deducción de la depresión del punto de congelación por disminución de la presión del vapor, es mucho mejor tratar de la curva del hielo que de la de la solución, como en la página 325, ya que el buen estudiante advertirá que no se ha hallado una fórmula para el cambio de la presión del vapor de una solución con la temperatura. Esta obra ha de ser de gran utilidad ya que como han de admitir todos los profesores, la realización de ejercícios numéricos es necesaria para la verdadera comprensión de la química-física.

J. R. PARTINGTON

TOPOGRAFIA

TROREY, LYLE G. *Aerial Mapping and Photogrammetry* (Mapificación y Fotogrametría Aéreas). 178 págs., con numerosos diagramas a línea y medio tono. Cambridge University Press, Londres. 1950. 25s.

El Dr. Trorey posee un completo conocimiento de la rama foto-topográfica, y la presente obra es, en consecuencia, un estudio utilísimo de los problemas de dicha materia. Se limita casi totalmente a la transposición a escalas topográficas, incluyendo numerosas ilustraciones y diagramas, en especial de los métodos gráficos utilizados en la mapificación. Se examinan asimismo las modernas máquinas trazadoras, y el capítulo que trata del equipo «Multiplex» es muy informativo y bien presentado. Los otros aparatos que utilizan el método de intersección espacial aparecen estudiados sin embargo muy ligeramente.

El libro contiene datos sobre las técnicas usadas en Canadá y que no se practican por lo general en Gran Bretaña. Es de especial interés la sección que trata de las fotografías oblícuas.

E. A. MISKIN

ZOOLOGIA

GRASSÉ, PIERRE-P. *Traité de Zoologie* (Anatomie, Systématique, Biologie), publicado bajo la dirección de Pierre-P. Grassé. Tomo VI: Onicóforos, Tardígrados, Atrópodos (generalidades), Trilobitomorfos, Queliceratos. Tomo IX: Insectos (Paleontología, Geonemia, Insectos inferiores y Coleópteros). Tomo XV: Aves. Frs. 5000, 4500 y 6000 respectivamente. Masson et Cie., París. 1949-50.

El primer volumen aparecido en esta serie marcó ya el elevado nivel de la misma, tanto en el contenido como en su presentación; las últimas adiciones mantienen, y aun sobrepasan, dicho nivel. Impresos y presentados con el mismo cuidado que los anteriores, añaden nuevo valor a los presentes volúmenes las espléndidas planchas en color, especialmente en el VI, y las fotografías, claras y bien reproducidas, del XV. Por desgracia, estas excelencias significan también un precio más elevado.

Las distintas secciones están preparadas por reputados especialistas, y el resultado es una obra muy completa que encierra todos los aspectos del estudio de la anatomía y manifestaciones vitales de los distintos grupos, combinado todo ello con valiosos datos sobre su interrelación e historia, lo cual tiene especial valor en el caso del grupo de los artrópodos en el Tomo VI y en el estudio de la colección de grupos con dudosas afinidades que forma el resto del volumen. La teoría de la derivación continental aparece con justicia incluída en la sección paleontológica y de distribución de los insectos, en la que se incluye también un estudio completo de las diversas teorías del origen del vuelo de las aves.

El único defecto — si lo hay — está precisamente en que estos volúmenes son demasiado completos. Un estudio completo de la historia de los órdenes, antiguos y modernos, y una descripción total de su comportamiento, embriología, fisiología, ecología, e importancia económica es una tarea tan monumental que, por necesidad, ha de resultar condensada en partes. Como es natural, se da la mayor importancia a la anatomía animal, y las demás secciones ocupan un lugar de acuerdo con su importancia en el cuadro general de la Zoología y con la cantidad de datos disponibles sobre la materia, consiguiéndose por regla general un justo equilibrio del que es buen ejemplo el Tomo XV. En él se incluye un estudio muy al día de la embriología experimental de las aves con una reseña de vasto número de trabajos sobre la conducta de las aves y sus ciclos de reproducción, añadiéndose además un conciso estudio del vuelo, la mecánica del esqueleto de las aves en general y todos los detalles morfológicos e históricos referentes a dicho grupo. A veces las secciones no morfológicas son demasiado concisas como, por ejemplo, las secciones sobre las migraciones aviales, la cutícula de los insectos y la estridulación de los saltamontes. Dicha brevedad se basa, sin embargo, en una rígida selección de las investigaciones modernas más valiosas, cuya bibliografía facilita un más completo estudio. La importancia de las respectivas secciones depende, como es natural, del punto de vista de cada lector.

Estos volúmenes ocupan un lugar de primer orden entre las obras de consulta, sin otro defecto que sus ocasionales y a veces divertidas erratas y algunas referencias confusas a otros capítulos.

J. D. CARTHY

Libros recibidos

(*Nota.* La mención de un libro en esta lista no excluye su futura revista.)

AGRICULTURA

BUTTRESS, F. A. (Compilador). *Agricultural Periodicals of the British Isles* 1681–1900, *and their Location.* 16 págs. School of Agriculture, Universidad de Cambridge. 1950. 2s.

ASTRONAUTICA

CLARKE, A. C. *Interplanetary Flight* (El vuelo interplanetario). 164 págs., con numerosas ilustraciones a línea y medio tono. Temple Press Limited, Londres. 1950. 8s. 6d.

ASTRONOMIA

JOHNSON, MARTIN. *Astronomy of Stellar Energy and Decay* (Astronomía de la energía y decadencia estelares). 216 págs., con ilustraciones a línea y medio tono. Faber and Faber Limited, Londres. 1950. 16s.

BIOLOGIA

Amino-Acids and Proteins — Cold Spring Harbor Symposia on Quantitative Biology. 217 págs., con numerosas ilustraciones a línea y medio tono. Biological Laboratory of Cold Spring Harbor, E.U. 1950. $7.

BIOCHEMICAL SOCIETY SYMPOSIA Nº 5. *Biological Oxidation of Aromatic Rings* (Oxidación biológica de anillos aromáticos). 96 págs., con varias tablas y diagramas a línea. Cambridge University Press, Londres. 1950. 8s.

Unités Biologiques Douées de Continuité Génétique. 199 págs., con varias ilustraciones a línea y medio tono. Editions du Centre National de la Recherche Scientifique. 1950. Fr. 1000.

GILBERT, FRANK A. *Mineral Nutrition in Plants and Animals.* 131 págs., con numerosas ilustraciones a medio tono. Hutchinson's Scientific and Technical Publications, Londres. 1950. 12s. 6d.

HEDIGER, H. *Wild Animals in Captivity.* 207 págs., con numerosos dibujos de línea e ilustraciones a medio tono. Butterworth's Scientific Publications, Londres. 1950. 35s.

WILLIAMS, R. T. (Editado por). *Biochemical Aspects of Genetics.* 60 págs. Cambridge University Press, Londres. 6s.

BOTANICA

Iodine and Plant Life — Bibliography 1813–1949. 1111 págs. Chilean Iodine Educational Bureau, Londres. 1950.

KING, E. J. *The Propagation of Plants.* 264 págs., con numerosos diagramas a línea. Hutchinson's Scientific and Technical Publications, Londres. 1950. 16s.

SCHOPFER, W. H. *Plants and Vitamins.* 293 págs., con numerosos dibujos a línea y medio tono. Chronica Botanica Company, Waltham, Mass., E.U. 1950. $5.

CIENCIA GENERAL

CRAMMER, J. L. (Compilador). *Science News Nº* 16. 176 págs., con varias ilustraciones a línea y medio tono. Penguin Books Limited. 1950. 1s. 6d.

CROMBIE, A. C. (Director). *The British Journal for the Philosophy of Science* (Volume I, Nº 1). 76 págs. Thomas Nelson and Sons Limited, Londres. 1950. 7s. 6d.

LENARD, PHILIPP. *Great Men of Science.* (Reimpresión) Traducción de la segunda edición alemana por H. Stafford Hatfield. 389 págs., con numerosas ilustraciones a medio tono. G. Bell and Sons Limited, Londres. 1950. 15s.

FISICA

CRAMMER, J. L., y PEIERLS, R. E. *Atomic Energy.* 200 págs., con varios diagramas a línea y medio tono. Penguin Books Limited, Londres. 1950. 1s. 6d.

DINGLE, HERBERT. *Practical Applications of Spectrum Analysis.* 245 págs., con varios diagramas a línea y medio tono. Chapman and Hall Limited, Londres. 1950. 40s.

ELECTRONICS GROUP (Sesión organizada por). *The Acceleration of Particles to High Energies.* 58 págs., con numerosas ilustraciones a línea y medio tono. Institute of Physics, Londres. 1950. 10s. 6d.

GAYNOR, FRANK. *Pocket Encyclopaedia of Atomic Energy.* 204 págs., con varios diagramas a línea. The Philosophical Library, Nueva York. 1950. $7,50.

LEVERENZ, HUMBOLDT W. *An Introduction to the Luminescence of Solids.* 569 págs., con numerosos diagramas a línea. John Wiley and Sons Inc., Nueva York; Chapman and Hall Limited, Londres. 1950. 96s.

SYRKIN, Y. K., y DYATKINA, M. E. *Structure of Molecules and the Chemical Bond.* 509 págs., con ilustraciones a línea y medio tono. Butterworth's Scientific Publications, Londres. 1950. 63s.

INDUSTRIA

BOWRON, H. W., y FISK, NEIL R. *The Paint Industry in Germany during the Period* 1939–1945. 153 págs., con ilustraciones a línea y medio tono. British Intelligence Objective Sub-committee Surveys Report Nº 22. H.M. Stationery Office, Londres. 1950. 3s.

MEDICINA

Medicine in 1850 (*Catalogue of an Exhibition*). The Wellcome Historical Medical Museum. 64 págs., con diversas ilustraciones a medio tono. Oxford University Press, Londres. 1950. 3s.

QUIMICA

HAMILTON, C. S. (Compilador). *Organic Syntheses, Vol.* 29. 119 págs. John Wiley and Sons Inc., Nueva York; Chapman and Hall Limited, Londres. 1950. 20s.

HARNED, HERBERT S., y OWEN, BENTON B. *The Physical Chemistry of Electrolytic Solutions.* (Segunda Edición) 645 págs., con varios diagramas a línea. Reinhold Publishing Corporation, Nueva York; Chapman and Hall Limited, Londres. 1950. 80s.

MALCOLM DYSON, G. *A Manual of Organic Chemistry for Advanced Students.* 984 págs., con diversas tablas y diagramas a línea. Longmans, Green, and Company Limited, Londres. 1950. 63s.

PARTINGTON, J. R. *A Textbook of Inorganic Chemistry.* 996 págs., con numerosos diagramas a línea. Macmillan and Company Limited, Londres. 1950. 25s.

SULLIVAN, WILLIAM H. *Trilinear Chart of Nuclear Species.* Dibujos de Kay Benscoter. John Wiley and Sons Inc., Nueva York; Chapman and Hall Limited, Londres. 1949. 20s.

ZECHMEISTER, L. *Progress in Chromatography,* 1938–1947. 368 págs., con diagramas a línea y medio tono. Chapman and Hall Limited, Londres. 1950. 45s.

ZOOLOGIA

NOBLE, N. S. (Director). *Australian Journal of Marine and Freshwater Research* (Vol. 1, Nº 1). 154 págs., con numerosas ilustraciones a línea y medio tono. Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization, Melbourne. 1950. 7s. 6d.